

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL EN
ELECTRICIDAD

**Instalación y Automatización de un conjunto de
cintas transportadoras.**

AUTOR: José Francisco Castrillo Rodríguez

TUTORA: Miriam Bueno Lorenzo

Leganés, 8 de Octubre de 2010

ÍNDICE

1.	Glosario.	5
2.	Resumen.	7
3.	Introducción.	8
4.	Objetivos.	9
5.	Descripción y funcionamiento de la instalación.	10
6.	Descripción de los equipos.	13
6.1.	Motores asíncronos	13
6.2.	Variador de frecuencia.	14
6.3.	Contactor.	15
6.4.	Interruptor magnetotérmico.	17
6.5.	Interruptor diferencial.	18
6.6.	Autómata programable (PLC).	19
6.7.	Sensor de proximidad.	20
6.8.	Tarjeta de adquisición de datos.	21
7.	Diseño de la instalación eléctrica.	22
7.1.	Dimensionamiento de la Instalación.	22
7.2.	Dimensionamiento de los equipos principales.	23
7.3.	Características de diseño generales.	24
7.4.	Cuadro General de Protecciones de la Instalación.	25
7.5.	Cuadros de protección secundarios.	26
7.6.	Líneas principales.	26
7.7.	Líneas de alimentación de los motores.	27
7.8.	Red de puesta a tierra y sistemas de protección contra contactos directos e indirectos.	27
7.9.	Corrección del factor de potencia.	28
7.10.	Dimensionamiento de sección de cables.	28
7.10.1.	Normativa a tener en cuenta.	28
7.10.2.	Criterios para el cálculo de la sección del cable.	29
7.10.3.	Cálculos de secciones.	31
7.10.4.	Lista de cuadros y previsión de cargas.	35
7.11.	Protecciones de los circuitos principales.	36
7.11.1.	Condiciones generales de protección de los circuitos de la instalación.	36
7.11.1.1.	Protección contra cortocircuitos:	37
7.11.1.2.	Protección contra sobrecarga:	38
7.11.1.3.	Cálculos de cortocircuitos de las líneas principales.	39
7.11.1.4.	Selección de las protecciones.	40
7.12.	Cálculo de protecciones de las líneas secundarias.	40
8.	Descripción del software.	42
8.1.	Labview (Laboratory Virtual Engineering Workbench).	42

8.1.1.	Descripción general.....	42
8.1.2.	Utilización en el proyecto.	43
8.2.	<i>Starter</i>	44
8.2.1.	Descripción general.....	44
8.2.2.	Utilización en el proyecto.	46
8.3.	<i>Step7</i>	46
8.3.1.	Descripción general.....	46
8.3.2.	Utilización en el proyecto	47
8.4.	<i>Profibus (Process Field Bus)</i>	47
8.4.1.	Descripción general.....	47
8.4.2.	Comunicación Profibus DP entre Simatic y Micromaster.	49
8.4.3.	Utilización en el proyecto.	50
9.	Configuración de los variadores de frecuencia.....	51
9.1.	<i>Configuración para aplicaciones multimotor</i>	51
9.2.	<i>Configuración del Variador 1</i>	51
9.2.1.	Configuración mediante la placa de características del motor.	51
9.2.2.	Configuración Avanzada.....	53
9.2.2.1.	Control de la temperatura del motor	53
9.2.2.2.	Configuración de los niveles de tensión de salida.	54
9.2.2.3.	Configuración de rearranques al vuelo y automático.	54
9.2.2.4.	Configuración de frenado.....	55
9.2.2.5.	Vigilancia del par de carga.....	55
9.3.	<i>Configuración del Variador 2</i>	57
9.4.	<i>Configuración del Variador 3</i>	58
9.5.	<i>Comunicaciones Profibus</i>	59
10.	Programación del PLC Simatic.....	61
10.1.	<i>Configuración del Hardware</i>	61
10.2.	<i>Control de la instalación</i>	62
10.3.	<i>Lista de entradas, salidas, temporizadores y memorias del programa</i>	65
Nombre		65
10.4.	<i>Desarrollo de la programación</i>	67
10.5.	<i>Comunicación PROFIBUS</i>	70
11.	Programa de supervisión de la instalación con Labview.....	74
11.1.	<i>Objetivos del sistema</i>	74
11.2.	<i>Implementación del sistema</i>	74
11.3.	<i>Estructura y desarrollo del programa</i>	75
11.3.1.	Menú principal.....	76
11.3.2.	Visualización.	76
11.3.3.	Cálculos.....	77
11.3.4.	Simulador, Visualización y Cálculos.	79
11.3.5.	Biblioteca	80
11.4.	<i>Utilización del programa</i>	80
11.4.1.	Valores de los transductores.	81
11.4.2.	Visualización.	81
11.4.3.	Cálculos.....	82
11.4.4.	Simulador	83
11.4.5.	Biblioteca	84

12.	Memoria económica.	85
12.1.	<i>Costes de la instalación eléctrica.</i>	85
12.2.	<i>Costes de los equipos de la automatización.</i>	86
12.3.	<i>Coste de software y tarjeta de adquisición de datos.....</i>	87
12.4.	<i>Costes totales.....</i>	87
13.	Conclusiones del proyecto.....	88
13.1.	<i>Instalación.</i>	88
13.2.	<i>Automatización.....</i>	88
13.3.	<i>Supervisión de la instalación.</i>	89
14.	Referencias.	90

1. Glosario.

- **Broadcast**, transmisión de información que será enviada a todos los dispositivos de una red.
- **DAQ**, siglas de adquisición de datos.
- **DB**, siglas de bloques de datos en el entorno de Step7, se trata de áreas de datos residentes dentro del programa de usuario.
- **FC**, siglas de función en el entorno de Step7, se trata de bloques lógicos sin memoria utilizados para realizar operaciones en la programación.
- **IGBT**, siglas de transistor bipolar de puerta aislada.
- **IP**, siglas de índice de protección.
- **ITC**, siglas de instrucción técnica del reglamento electrotécnico en baja tensión.
- **K**, sigla utilizada para nombrar al contactor principal de alimentación del variador.
- **KM**, siglas utilizada para nombrar al contactor de alimentación del Motor.
- **Labview**, Laboratory Virtual Engineering workbench, Software de programación de tipo gráfico.
- **Micromaster**, modelo de variador de frecuencia de Siemens.
- **MPI**, siglas de interfaz de paso de mensajes.
- **Multicast**, enviar información en una red a múltiples destinos simultáneamente.
- **OB**, siglas de bloque de organización en el entorno de Step7, constituyen el interface entre la CPU del autómatas y el programa de usuario, en estos bloques se determina el orden de ejecución que deberá seguir el programa de usuario.
- **PdC**, abreviatura de poder de corte de un interruptor automático.
- **PEM**, abreviatura utilizada en pulsador de emergencia.
- **PKW**, palabra de datos usada en comunicaciones de profibus entre Simatic y Micromaster para comunicaciones cíclicas.
- **PLC**, abreviatura de controlador lógico programable.
- **PPO**, conjunto de palabras de datos PKW y PZD utilizadas en comunicaciones profibus entre Simatic y Micromaster.

- **PZD**, palabra de datos utilizada en comunicaciones acíclicas entre Simatic y Micromaster mediante Profibus.
- **Profibus-DP**, periferia descentralizada que admite comunicaciones profibus.
- **RBT**, siglas de reglamento electrotécnico en baja tensión.
- **Rechazo al modo común**, En un conjunto de amplificadores operacionales configurados como amplificador de instrumentación, el rechazo al modo común o CMRR es una medida del rechazo que ofrece la configuración a la entrada de voltaje común.
- **RM**, retroaviso de mando.
- **SFC**, siglas de función de sistema en el entorno de Step7, se trata de una función integrada en el sistema operativo de la CPU que se puede llamar durante la programación cuando se necesite.
- **Starter**, software de parametrización y control de variadores Micromaster de Siemens.
- **Simatic**, modelo de autómeta de Siemens.
- **Step7**, plataforma de programación del autómeta Simatic.
- **VI**, siglas de instrumento virtual.
- **XLPE**, polietileno reticulado.

2. Resumen.

Este proyecto fin de carrera implementa una instalación automatizada de tipo industrial, basada en los sistemas de transporte de maletas de los aeropuertos.

La instalación consta de un sistema automatizado de cintas transportadoras que mueven mercancías desde una zona de carga a otra zona de descarga. Al existir una gran distancia entre ambos puntos, se ha optado por un conjunto de cintas transportadoras en lugar de una sola ya que este sistema permite un envío de la carga más inteligente.

Los motores de las cintas transportadoras son controlados por los variadores de frecuencia Micromaster 440. Mediante el software de control de estos variadores, Starter, se podrán configurar los motores para la aplicación deseada. Mediante un sistema de comunicaciones entre el autómatas y los variadores de frecuencia se podrán dar las órdenes de activación, desactivación, velocidad de las cintas y visualizar algunos parámetros de la instalación.

El control de la instalación se realiza mediante un autómatas Simatic S7 300, del fabricante Siemens, programado en Step7. La instalación es capaz de detectar en cada paso por cinta la ubicación de la carga, de manera que se consigue supervisar el correcto transporte de ésta.

Como mecanismo de supervisión y detección de fallos, en la puesta en marcha de la instalación, es utilizada una tarjeta de adquisición de datos, a partir de la cual y mediante el desarrollo de un programa en Labview, se permitirá visualizar en tiempo real variables del sistema como la tensión, la corriente, la frecuencia y, además, se realizará el cálculo de ciertos parámetros de la instalación como son la potencia activa, la potencia reactiva y el factor de potencia. También permitirá el cálculo de baterías de condensadores para mejorar del factor de potencia en circuitos con carácter inductivo. Por último, el software desarrollado en el proyecto contará con un programa de simulación para analizar circuitos sin necesidad de contar con tarjetas de adquisición de datos.

3. Introducción.

Los sistemas automatizados ocupan un lugar clave en el sector de la industria actual, la implantación de estos sistemas se demanda desde las cadenas de montaje y fabricación de todo tipo de productos, hasta los transportes, tanto de mercancías como de personas.

Este avance en el campo de la automatización industrial ha permitido una mayor especialización de los procesos, adaptando las instalaciones y los equipos a las tareas encomendadas y por consiguiente aumentando los rendimientos.

En el caso a tratar, este proyecto se centra en los sistemas de transporte de mercancías. Como ejemplos de aplicación se podrían citar, descargas de contenedores de barcos mercantes o pesqueros desde un muelle, carga y descarga en grandes almacenes de mercancías, salida de productos en grandes fábricas desde las líneas de producción hasta las zonas de almacenamiento, distribución e incluso venta.

En todo sistema de automatización, ya sea en líneas de fabricación o de transporte, el uso de cintas transportadoras y cintas de rodillos es muy común ya que permite un movimiento uniforme y controlado en toda su superficie, facilita la entrada y salida de mercancías en el proceso y sus diferentes diseños permiten que se puedan integrar fácilmente en un ambiente industrial.

4. Objetivos.

El objetivo general de este proyecto es el diseño de un sistema automatizado de transporte de mercancías, aplicado al transporte de equipajes en aeropuertos.

A partir de aquí se pretende aumentar el conocimiento en la programación de autómatas, para la realización de proyectos industriales, con equipos descentralizados comunicados mediante buses de campo.

Desarrollar proyectos de instalaciones eléctricas en ambientes industriales y con carácter automatizado.

Mejorar los conocimientos sobre variadores de frecuencia Micromaster440 y sobre su aplicación para diferentes usos, mediante el software Starter, poniendo especial hincapié en configuraciones de tipo multimotor, donde un solo variador controla varios motores.

Investigar la utilización de tarjetas de adquisición de datos y el desarrollo de software en el entorno de Labview, como herramientas de supervisión en la puesta en marcha de instalaciones eléctricas de tipo industrial.

El diseño de las cintas transportadoras, así como el cálculo de sus características mecánicas quedan fuera del alcance de este proyecto, los datos tomados para hacer los cálculos de dimensionamiento son estimaciones obtenidas a partir de los catálogos de diferentes fabricantes. Por lo tanto este proyecto llegaría hasta la selección del motor adecuado para satisfacer las necesidades de potencia, no contemplando la transmisión mecánica ni demás elementos relevantes en el diseño de una cinta transportadora.

Por otro lado la instalación eléctrica relacionada con el centro de transformación y el cuadro general de baja tensión no entran dentro del alcance de este proyecto, considerando que la instalación se diseña para desarrollarse en ambientes industriales que cuentan con una fuerte infraestructura propia y a la que esta instalación se acoplaría.

5. Descripción y funcionamiento de la instalación.

La instalación aquí contemplada ha sido diseñada para el envío de equipajes en un aeropuerto, desde la zona de descarga del avión, hasta la zona de recogida por parte de los pasajeros.

Las cintas transportadoras deben por tanto conectar ambos puntos, siendo la distancia a recorrer de doscientos cincuenta metros se opta por un sistema de cinco cintas transportadoras de cincuenta metros de longitud cada una. La carga media a transportar se considera homogénea y con unas dimensiones de cien centímetros de largo, por cincuenta centímetros de ancho y cuarenta centímetros de profundidad y un peso de cincuenta kilogramos.

Debido al criterio utilizado en el envío de carga, la instalación ha sido dividida en tres zonas:

- La primera zona esta formada por la cinta transportadora número uno o cinta transportadora de carga. En esta área existe personal del aeropuerto trabajando en las tareas de carga y descarga de equipajes de los aviones. La velocidad de la cinta esta limitada por seguridad.
- La segunda zona, formada por las cintas transportadoras dos, tres y cuatro. En esta área se aumenta la velocidad de envío de las maletas para conseguir disminuir el tiempo de espera de los pasajeros.
- La tercera y última zona la constituye la cinta cinco o cinta de descarga. Al igual que en la primera, su velocidad ha sido limitada por seguridad.

Estos serán, por tanto, los criterios de diseño y dimensionamiento de la instalación.

El funcionamiento de la instalación comienza con el encendido de ésta mediante el interruptor principal. En este momento se activan los contactores de alimentación de los variadores y de los motores según los criterios de programación.

Cuando el sensor 1 detecta que la carga ha sido colocada sobre la cinta, se da la orden de arranque al variador, el motor arranca suavemente mediante una rampa de aceleración hasta que la cinta alcanza la consigna de velocidad.

Cuando la carga llega a la segunda cinta transportadora y es detectada por el sensor 2 activa el segundo variador y con él los motores de las cintas 2, 3 y 4. Por último la cinta 3 se activa, cuando el sensor 5 detecta el paso de carga, de forma análoga a lo sucedido en las cintas anteriores se activa el motor de la cinta 5.

La figura 1 muestra un detalle de la disposición frontal de la instalación así como la de la ubicación de los equipos más relevantes.

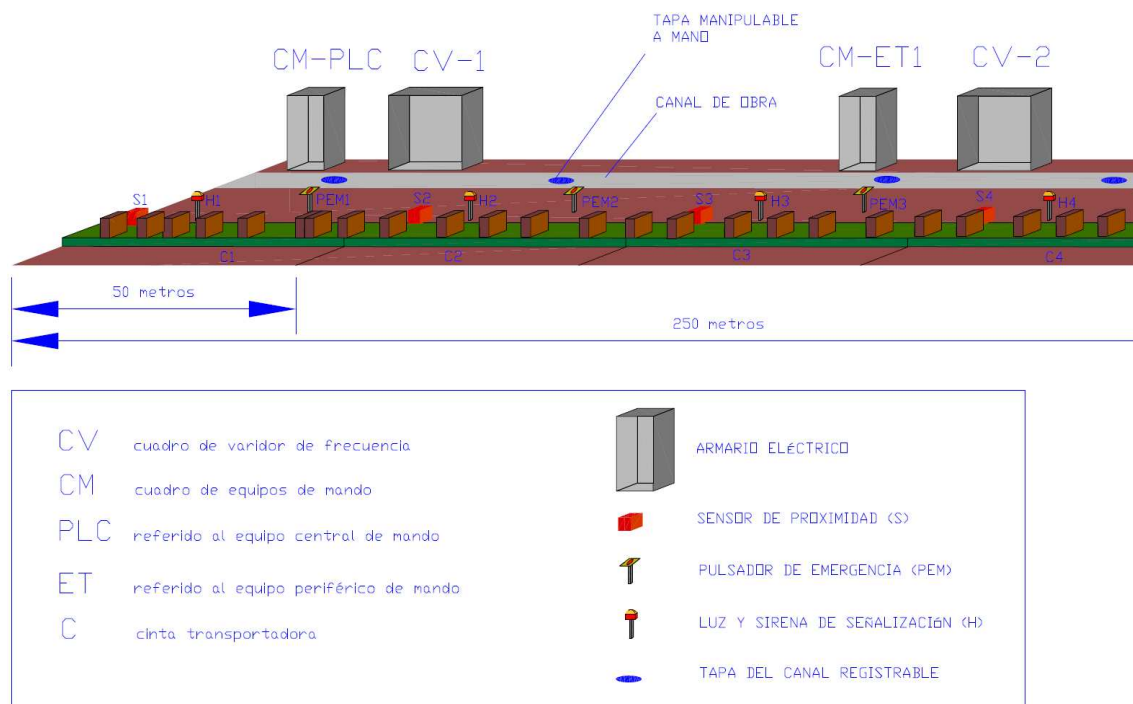


Figura 1. Detalle de la instalación, alimentación de los equipos principales.

De acuerdo a este proceso, los sensores de detección de carga deben estar situados de manera que puedan detectar el paso de la carga segundos antes de tener la carga directamente colocada sobre la cinta que accionan, con la excepción del primer sensor que se inicia con la colocación de la carga sobre la propia cinta.

Una vez arrancadas todas las cintas, el sistema de transporte de carga, trabaja de forma ininterrumpida, ya que su diseño se ha realizado en base a un sistema de entrada continua de carga, hasta que se dé la orden de desconexión o se pulse una emergencia.

Los sensores cumplirán entonces dos funciones, una primera de encendido de la instalación y una segunda de comprobación del correcto envío de la carga mediante temporizadores que controlan el paso continuo de la carga por las cintas.

Desde el puesto de mando se controla el funcionamiento de la instalación, a través de la programación del autómatas, también se configuran los variadores de frecuencia mediante su software de control, antes de su puesta en marcha. Por último se pueden realizar tareas de visualización de la instalación eléctrica mediante el software de control programado en Labview.

La estructura general del proyecto se puede observar en la siguiente figura.

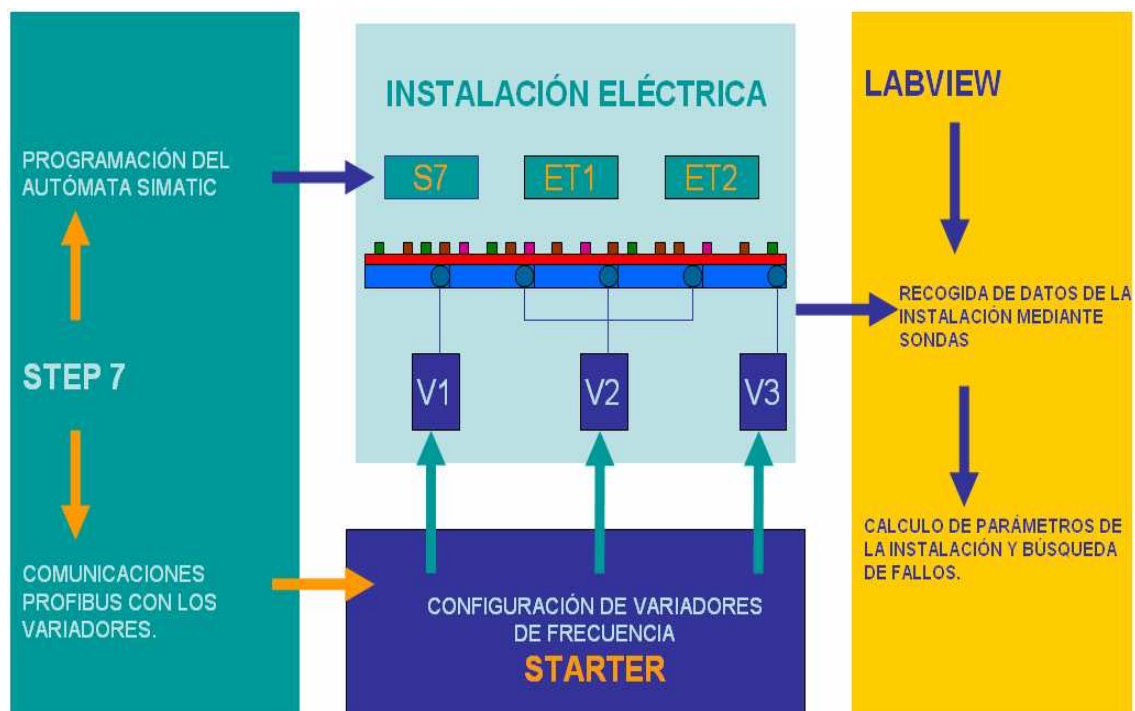


Figura 2. Diagrama general del proyecto.

6. Descripción de los equipos.

En este apartado se realizará una breve descripción de los equipos utilizados en este proyecto.

6.1. Motores asíncronos

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de jaula de ardilla o de bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras.

Los motores eléctricos generan un campo magnético giratorio y se les llama asíncronos porque la parte giratoria, el rotor y el campo magnético provocado por la parte fija, estator, tienen velocidad desigual. A esta diferencia de velocidades se denomina deslizamiento [5]. La figura 3, muestra una sección transversal simplificada de un motor de inducción.

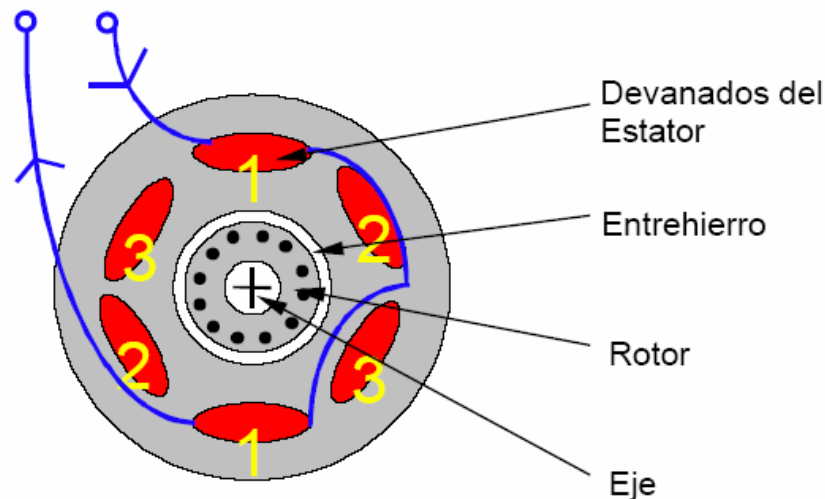


Figura 3. Sección transversal de un motor asíncrono simplificada (Fuente: Siemens[7]).

El rotor está unido sobre un eje giratorio. Dicho eje, está atravesado por barras de cobre o aluminio unidas en sus extremos.

El estator encapsula al rotor y genera el campo magnético. Provoca con su campo magnético fuerzas electromotrices en el rotor que a su vez provocan corrientes eléctricas.

Estas dos circunstancias, la fuerza electromotriz y las corrientes eléctricas, provocan una fuerza magnetomotriz, lo cual hace que el rotor gire [5].

La fuerza magnetomotriz que aparece en el rotor deriva en un par de fuerzas, a las que denominamos par del motor, siendo las causantes del giro del rotor. El par motor depende directamente de las corrientes del rotor, y tenemos que saber que en el momento del arranque son muy elevadas, disminuyendo a medida que se aumenta la velocidad.

6.2. Variador de frecuencia.

En un motor de inducción, cuando se conecta el estator a una fuente de potencia trifásica, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente [5].

Por consiguiente, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del arreglo del devanado y, en menor medida, de la carga.

Por lo tanto, para controlar la velocidad de un motor de inducción es necesario controlar la frecuencia de la fuente de alimentación.

Un variador de frecuencia es un dispositivo formado por un circuito rectificador y un circuito inversor principalmente, como se muestra en la figura 4.

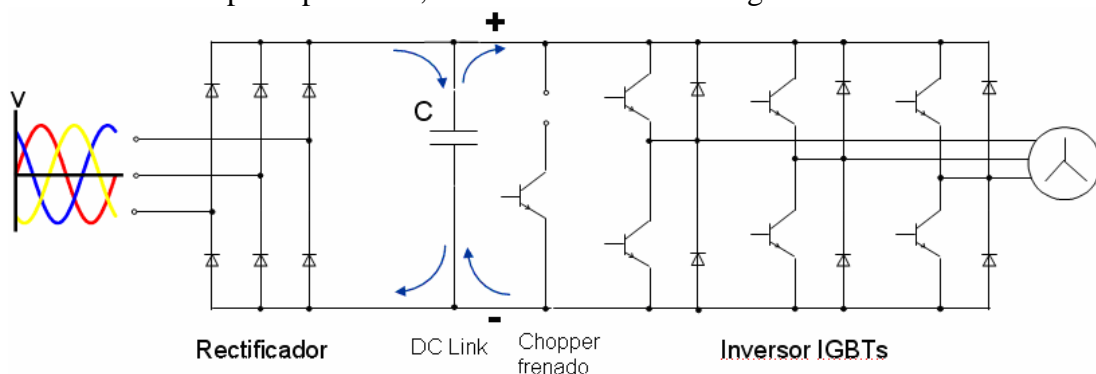


Figura 4. Circuito de un variador de frecuencia (Fuente: Siemens [7]).

El circuito rectificador está constituido por un puente de diodos para bajas potencias o de tiristores para altas y convierte la corriente alterna en corriente continua [7].

El circuito inversor está formado por semiconductores del tipo de los IGBTs, transistor bipolar de puerta aislada, que trocean la corriente continua para obtener nuevamente corriente alterna, con la principal característica de controlar la frecuencia de la corriente de salida. En la figura 5, se muestra la tensión de salida de un inversor.

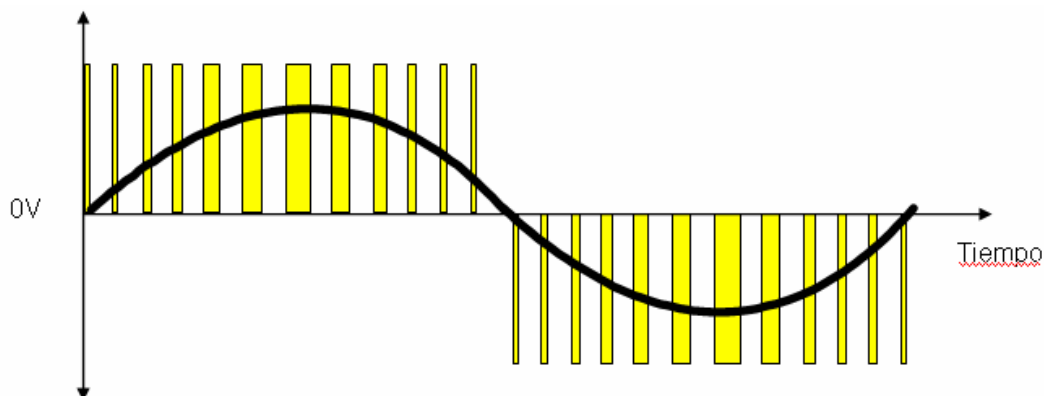


Figura 5. Tensión de salida de un inversor (Fuente: Siemens[7]).

Si se reduce la frecuencia, es necesario reducir la tensión o de lo contrario el flujo magnético será demasiado elevado y el motor se saturará. Por tal motivo también es necesario controlar la tensión.

Por tanto un variador de frecuencia para la mayoría de las aplicaciones ejerce un control sobre el motor de tipo tensión frecuencia.

La alimentación de motores desde un variador ofrece múltiples ventajas respecto a la alimentación directa desde la red [7]:

- No aparece ninguna sobrecorriente brusca en el arranque, ya que el variador se encarga de que la tensión y frecuencias de alimentación al motor se incrementen de manera progresiva.
- Posibilidad de controlar plenamente las aceleraciones y frenadas del motor, definiendo rampas de aceleración y desaceleración.
- Es posible trabajar a velocidades superiores a la nominal.
- Es posible dosificar de forma óptima la potencia del motor, con esto, se pueden lograr importantes ahorros de energía.
- Control PID y funciones lógicas incorporadas.
- Frenado controlado. En cambio, con alimentación directa el motor sigue girando y se detiene por rozamiento, el efecto de la carga o sistemas de freno mecánicos.
- Protección del motor y la carga ante eventos o sobrecargas inesperadas. Mayor vida útil y menor mantenimiento.

6.3. Contactor.

Aparato de conexión, con una sola posición de reposo, accionado a distancia y capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluidas las sobrecargas en servicio [1].

Está constituido por un circuito de mando, unos contactos principales y unos contactos auxiliares.



Figura 6. Vista de un Contactor Modelo Sirius del fabricante Siemens (Fuente: Siemens [4]).

El circuito de mando está formado por un electroimán con circuito magnético, con una parte fija y otra móvil y una bobina de excitación.

Los contactos principales, son los encargados del corte y restablecimiento de la corriente en el circuito principal. Unos son fijos y otros móviles, sujetos mecánicamente al elemento móvil del electroimán. Deben tener gran resistencia mecánica para resistir muchas conexiones y desconexiones, y también alta conductividad, por lo que se recubren habitualmente con plata y níquel [1].

Los contactos auxiliares abren y cierran el circuito de mando actuando sobre la bobina del contactor. Los contactos auxiliares suelen ser normalmente abiertos, aunque pueden tener otras configuraciones, actúan igual que los contactos auxiliares, cerrando el circuito auxiliar cuando se cierra el circuito principal.

Al conectar a una tensión la bobina del contactor, que está en estado de reposo, crea un flujo magnético que atrae la parte móvil del circuito magnético y como consecuencia, cierra los contactos principales y auxiliares normalmente abiertos, mientras que abre los contactos auxiliares normalmente cerrados. Al desconectar la bobina, los muelles hacen volver la parte móvil a la posición de reposo.

El contactor permite efectuar un gran número de maniobras, mediante mando eléctrico a distancia, por lo que se utiliza en instalaciones de automatización, especialmente para el mando de motores.

Las principales características que definen un contactor son: número de contactos principales y auxiliares, naturaleza de la corriente del circuito principal y del auxiliar, medio de corte, tensión de empleo, tensión de aislamiento, intensidad de empleo, intensidad térmica convencional, poder de cierre del interruptor con tensión aplicada entre sus terminales y poder de corte de corriente del interruptor cuando se encuentra cerrado y con corriente atravesándolo.

6.4. Interruptor magnetotérmico

Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales, así como de establecer, soportar durante un tiempo y cortar corrientes de corto circuito [1].

El interruptor automático está constituido principalmente por las siguientes partes:

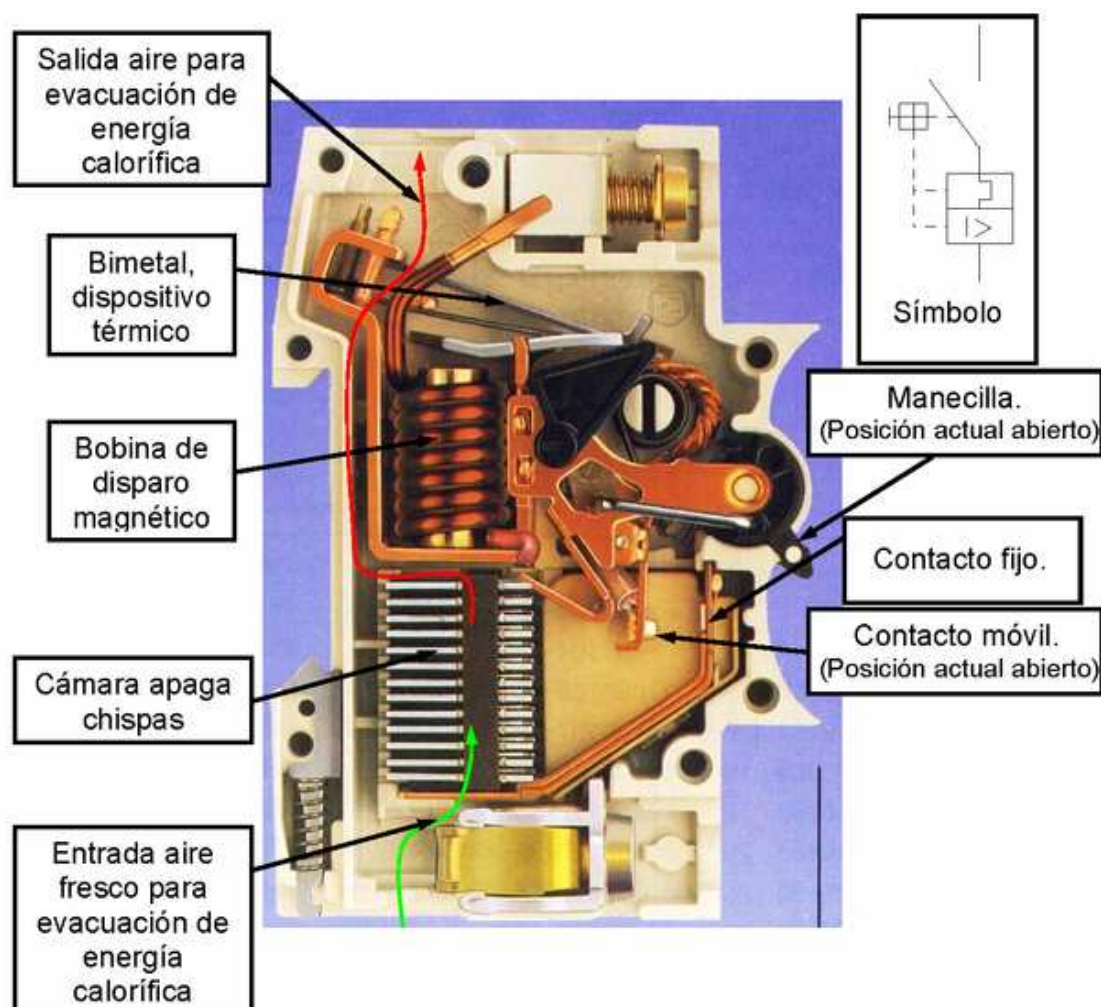


Figura 7. Sección lateral de un Interruptor Magnetotérmico (Fuente: Imagen de José Manuel Pérez Trujillo cedida a Wikipedia [6]).

Son aparatos modulares, pueden tener de uno a cuatro polos: unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares.

Tienen incorporados un disparador térmico y otro magnético, que actúan sobre un dispositivo de corte.

El disparador térmico, consta de una lámina bimetálica, que al calentarse por encima de una determinada temperatura, sufre una deformación y provoca la apertura de un contacto, dejando el circuito abierto. Este comportamiento se produce en base al efecto Joule por el cual, la temperatura de esta lámina está proporcionalmente ligada a la corriente que la atraviesa, por lo que se pretende limitar la corriente de funcionamiento del circuito a proteger aguas abajo. Este sistema se utiliza para detectar sobrecargas [6].

El disparador magnético, consta de un electroimán, capaz de crear para ciertas corrientes muy elevadas una fuerza que permite la apertura de un contacto. Este sistema se usa para detectar cortocircuitos, por lo que detecta corrientes de entre 3 y 20 veces la nominal y tiene un tiempo de actuación de unos pocos milisegundos [1].

Se fabrican con diversos sistemas de montaje, para la colocación en cuadro, montaje saliente, etc., y los sistemas de conexión más usados son por tornillo y conexión enchufable.

6.5. Interruptor diferencial

Se trata de un aparato mecánico de conexión, que actúa interrumpiendo el paso de la corriente al circuito que protege, cuando detecta que la diferencia entre la corriente de entrada y la de salida superan un valor límite [1].



Figura 8. Imágenes de los interruptores diferenciales de dos y cuatro polos y esquema de conexión (Fuente: ABB [17]).

Se utiliza cuando el neutro está unido directamente a tierra y está constituido esencialmente, por un núcleo magnético, bobinas conductoras y bobina con dispositivo de corte.

Cuando la intensidad que circula por los dos conductores no es igual, por haber una fuga a tierra (I_T), el campo magnético resultante no es nulo, induciéndose una corriente en la bobina del dispositivo de corte, el cual actúa interrumpiendo el circuito. Se llama sensibilidad del diferencial a la mínima intensidad de corriente de fuga a tierra, para la que el aparato se desconecta.

Se llaman de alta sensibilidad los interruptores diferenciales de sensibilidad menor o igual de 30 mA y de baja los de sensibilidad mayor de 30 mA [1].

El interruptor diferencial tiene un poder de corte reducido por lo que debe estar protegido con interruptores automáticos o fusibles.

Se utilizan también interruptores diferenciales trifásicos para las instalaciones trifásicas a tres o cuatro hilos, pudiendo incorporar protección magnetotérmica en el mismo aparato, recibiendo el nombre de interruptor magnetotérmico diferencial.

Cuando se conectan dos o más interruptores diferenciales en serie, el interruptor de cabecera debe tener retardo de disparo para desconexión selectiva.

6.6. Autómata programable (PLC).

Equipo electrónico programable de lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y ambiente industrial, procesos secuenciales.

Es un equipo electrónico de control con un cableado interno (hardware) independiente del proceso a controlar, que se adapta a dicho proceso mediante un programa específico (software) que contiene la secuencia de operaciones a realizar [12].

Los autómatas programables los podemos clasificar según su constitución en:

1. Sistemas compactos: unidad de control y un mínimo de E/S, y una serie de unidades de expansión.
2. Autómatas modulares: montados en bastidor (rack).
3. Subsistemas remotos: parte de los módulos de E/S en otro bastidor.

Los autómatas montados en bastidores están formados por un primer módulo en el que se encuentra la fuente de alimentación, un segundo módulo donde se encuentra la CPU y a partir de éste, una serie de módulos de entradas y salidas, tantos como sean necesarios en la programación y limitados únicamente por la capacidad de la fuente. Pueden colocarse módulos de entradas y salidas periféricos, alimentados con una fuente específica, separados físicamente de la CPU y que se comuniquen con ésta vía profibus, profinet, Wi-Fi y demás sistemas de comunicación compatibles con el modelo de PLC.

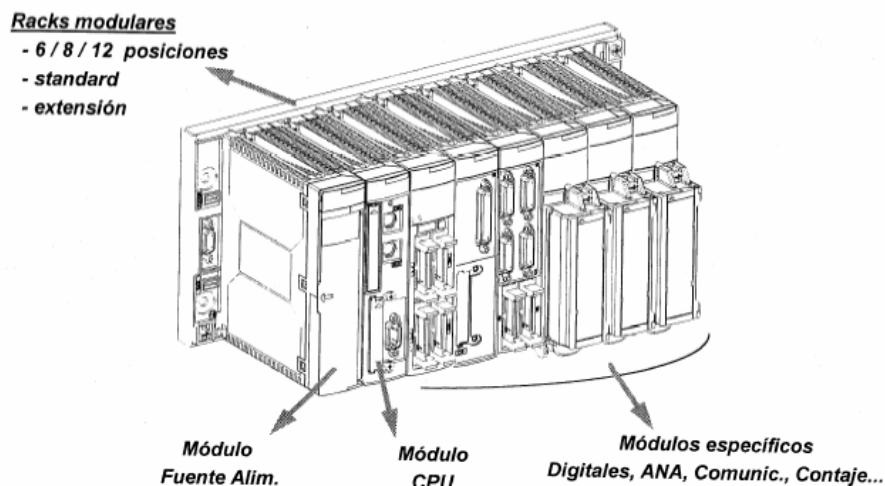


Figura 9. Detalle de composición de un PLC modular (Fuente: Transparencias de Automatismos Industriales para Ingeniería Técnica Industrial en Electricidad de la UC3M).

El software de control es un programa que se repite de forma cíclica, obtiene información del sistema a través de las entradas, procesa esta información y la trata dando como resultado una serie de señales de salidas que pueden dar lugar a acciones y variaciones en el sistema automatizado.

Las señales de consigna y realimentación se denominan entradas y las señales de control se denominan salidas, ambas pueden ser analógicas y digitales.

El autómatas gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en una memoria y del estado de las señales de entrada [9].

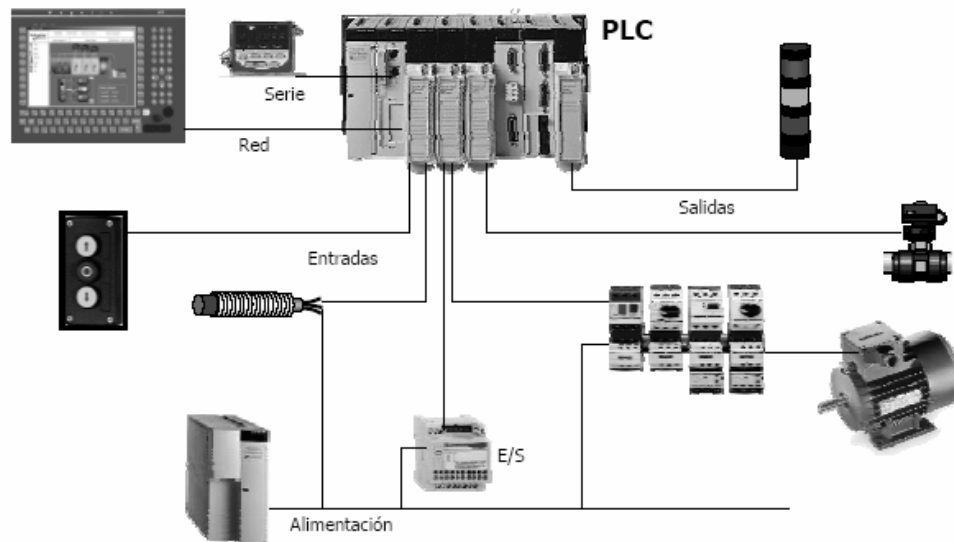


Figura 10. Detalle de la arquitectura de un sistema automatizado controlado por PLC (Fuente: Transparencia de Automatismos Industriales para Ingeniería Técnica Industrial en Electricidad de la UC3M).

6.7. Sensor de proximidad.

Un sensor se define como un dispositivo que proporciona una información legible sobre una variable física del sistema [12].

Los sensores de presencia nos permiten detectar si un objeto está en una posición determinada o cerca de alguna zona, son sensores todo o nada y tienen dos formas de configuración, normalmente abierta y normalmente cerrada. De esta manera un sensor con configuración normalmente abierta, cerrará su conexión cuando detecte el paso de objetos, proporcionando una señal lógica y no hará nada en ausencia de los mismos. Por otro lado un sensor con configuración normalmente cerrada, proporcionará una señal lógica siempre y cuando no se detecten objetos y abrirá su contacto dejando de emitir la señal cuando detecte el paso de los mismos.

Podemos clasificarlos en:

- Sensores de contacto: Electromecánicos.
- Sensores de proximidad: Inductivos, Capacitivos, Ópticos, Ultrasonidos, Reed.

Todos los sensores se pueden clasificar según el tipo de señal de salida, esta puede ser analógica o digital, según la magnitud física a detectar, posición, velocidad, nivel, temperatura, fuerza, etc. También se puede clasificar según el parámetro variable, resistivo, capacitivo, inductivo, piezoeléctrico, etc...

Las características principales de un sensor son el rango de medida, la resolución, la precisión, la repetición, la curva de calibración, sensibilidad, linealidad, histéresis, velocidad de respuesta y errores.

Los criterios de selección que hay que tener en cuenta a la hora de elegir un sensor frente a otros son:

- Naturaleza de la magnitud a medir.
- Tipo de señal de salida.
- Utilización.
- Equipos disponibles.
- Condiciones de utilización, grado de protección necesario.
- Especificaciones técnicas.
- Alimentación y consumo del sensor.
- Coste.

6.8. Tarjeta de adquisición de datos.

Tarjeta electrónica constituida por una serie de canales de entradas y salidas ya sean analógicos o digitales, un circuito intermedio de acondicionamiento de la señal, un sistema de conversión analógica digital y un sistema de conexión para PC, de manera que la tarjeta actúe de enlace entre las señales de entrada y el PC [13].

Las capacidades comunes que suelen tener las tarjetas de adquisición de datos son:

- Adquisición de señales analógicas.
- Generación de señales analógicas.
- Generación y adquisición de señales digitales.
- Contadores y timers.
- Triggers.
- Autocalibración, sensores, etc.

La adquisición de la señal puede ser diferencial, referenciada a un punto o no referenciada.

En la medida diferencial se tendrá en cuenta la diferencia entre una medida y otra. En este caso el circuito externo y la tarjeta no tienen una referencia común. Como regla general es preferible una medida diferencial a las otras porque presenta menos ruido, mejor rechazo al modo común [13], medida del rechazo que ofrece la configuración a la entrada de voltaje común.

Las medidas referenciadas sí tienen un punto común entre el exterior y la tarjeta, la ventaja es que habrá más canales disponibles, pero todas esas entradas deben tener la misma referencia. No se recomienda si las tensiones son pequeñas, si hay una gran distancia entre el acondicionador y la tarjeta, los cables no están apantallados o se está inmerso en un ambiente ruidoso [13].

En las medidas sin referencia, la señal exterior y la circuitería de la tarjeta de adquisición de datos no tienen una referencia común.

7. Diseño de la instalación eléctrica.

En este apartado se abordará el diseño de la instalación desde un punto de vista eléctrico.

Los aspectos más importantes a tratar serán por un lado el dimensionamiento de la instalación, la elección de los equipos y el cumplimiento de la normativa dada por el Reglamento Electrotécnico en Baja Tensión.

7.1. Dimensionamiento de la Instalación.

La instalación del sistema automatizado de transporte de carga, nace de la necesidad de trasladar un gran volumen homogéneo de carga, en unas condiciones específicas de seguridad.

Existen tres áreas bien diferenciadas, una primera y una segunda áreas que comprenden los extremos de la línea de trabajo donde existe la presencia de personal técnico en las tareas de carga y descarga y una tercera donde prima principalmente la velocidad de traslado de la carga.

Con estas premisas, se genera un concepto de instalación, en el centro del cual se encuentra un sistema de cintas transportadoras automatizadas, movidas por sendos motores eléctricos de inducción. El control de estos motores se deja a cargo de tres variadores de frecuencia, la zona de carga y la zona de descarga serán controladas por dos variadores de frecuencia independientes, mientras que la zona intermedia se controlará mediante un único variador de frecuencia de gran potencia.

Los criterios de diseño eléctrico, del sistema automatizado de transporte de carga, son la creación de una instalación interior, en baja tensión y con equipos descentralizados.

Para su realización se utilizará el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Al tratarse por tanto de una instalación de tipo interior, el grado de protección, también llamado IP, de los equipos deberá ser menor que en el caso de una instalación exterior.

La alimentación de los equipos se realizará con tensiones de línea de 380 V para los circuitos trifásicos y 220V para los monofásicos, ambos en alterna. Los circuitos de mando se alimentarán a 24 V en continua.

La instalación estará dividida en tres circuitos eléctricos principales con entradas de alimentación independientes. Cada uno de ellos constará principalmente de un variador de frecuencia, contactores de entrada, contactores de salida, la aparatada de protección del variador y la aparatada de protección de los motores.

Como primer paso de dimensionamiento de la instalación se calcula el consumo de potencia necesario, para conseguir alcanzar el nivel de trabajo de la instalación.

Cada cinta tiene una longitud de 50 metros, el peso medio de la carga a transportar se considera de 50kg, con unas dimensiones de 100x50x40cm. En el caso más exigente

cada cinta podrá transportar un máximo de 125 cargas, que se corresponderán con un peso de 6250kg.

Para el caso de las cintas de carga y descarga, situadas en los extremos de la línea de trabajo se considera que la velocidad máxima de estas debe ser de 15km/h. Por lo tanto la potencia necesaria, considerado el caso más exigente con un peso de arrastre de 6250kg y una velocidad de 15km/h a una aceleración de 1m/s^2 será de:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{m \cdot a \cdot d}{t} = m \cdot a \cdot v \quad (1)$$

Donde el significado de cada variable es:

P	potencia en vatios.
W	trabajo en julios.
t	tiempo en segundos.
m	masa en kilogramos.
a	aceleración en metros por segundo al cuadrado.
d	distancia en metros.
v	velocidad en metros por segundo.

$$P = 6250\text{kg} \cdot 1\text{m/s}^2 \cdot 15 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} = 36722\text{W}$$

Considerando un rendimiento mecánico de un 75%, la potencia eléctrica necesaria para alimentar la cinta a plena carga será de 48829 kW.

A partir de este dato se tomarán motores de 55kW por cinta que garantizan sobradamente la potencia demandada.

Para el caso de las cintas situadas en la zona de transporte rápido, la velocidad de la carga será de 6250kg a velocidades de 30km/h y aceleraciones de 1m/s^2 , se considera un rendimiento mecánico de un 75%, por lo que la potencia necesaria será de:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{m \cdot a \cdot d}{t} = m \cdot a \cdot v = 6250\text{kg} \cdot 1\text{m/s}^2 \cdot 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \cdot \frac{1}{0,75} = 69440\text{W}$$

Para conseguir sobradamente estos valores de potencia se optará por motores eléctricos de inducción de 75kW.

7.2. Dimensionamiento de los equipos principales.

En este apartado se aborda la selección de los equipos principales según la previsión de potencia realizada.

A) Circuito de alimentación de la cinta de carga o zona 1.

El circuito de alimentación de la cinta, situada en la zona de carga consta de un motor de inducción de 55kW, modelo M3RP 315 LC del fabricante ABB y con una corriente nominal de 97A.

El contactor tripolar de alimentación del motor debe ser capaz de trabajar en régimen de funcionamiento con corrientes de hasta 97A, corriente nominal del motor, el modelo de A9530 de ABB trabaja a corrientes de hasta 160 amperios, por lo que cumple con el requisito necesario.

La alimentación del motor se realizará mediante el variador de frecuencia modelo Micromaster440 del fabricante Siemens, de potencia igual a 55kW, con una corriente nominal a la salida de 145A.

El contactor tripolar de alimentación del variador de frecuencia, debe ser capaz de trabajar con las corrientes de entrada del variador, para este caso se selecciona el modelo SIRIUS 3RT1056 del fabricante Siemens, que soporta corrientes de hasta 210 A.

B) Circuito de alimentación de la cinta de descarga o zona 3

El circuito de descarga es idéntico al circuito de carga por lo que la elección de los equipos se realizará siguiendo los mismos criterios.

Se utilizará un motor de 55kW modelo, M3RP 315 LC del fabricante ABB y un variador de frecuencia modelo Micromaster440 de 55kW. Los contactores de motor y variador respectivamente serán el A9530 de ABB y el SIRIUS 3RT1054 del fabricante Siemens.

C) Circuito de alimentación de las cintas rápidas o zona 2.

Para este circuito los motores de inducción serán de una potencia de 75kW, los modelos seleccionados son los Siemens de la serie 1LA6, con corrientes nominales de 120A.

Los contactores seleccionados para alimentar los motores de 75kW, son los SIRIUS 3RT1056 de 75kW y corrientes de 185A, del fabricante Siemens.

Para la elección del variador de frecuencia, se tiene en cuenta la aplicación multimotor de este, ya que tendrá que alimentar a tres motores de inducción de 75kW a 120A nominales cada uno. En este caso se selecciona el Micromaster440 de 250kW y 490A nominales de salida

El contactor tripolar de alimentación del variador de frecuencia, debe ser capaz de trabajar con las corrientes de entrada del variador, para este caso se selecciona el modelo 3RT1076 del fabricante Siemens, que soporta corrientes de hasta 600A

7.3. Características de diseño generales.

En este punto se describen y justifican las soluciones adoptadas para las instalaciones de este proyecto según el reglamento electrotécnico en baja tensión.

El diseño de la instalación parte desde el cuadro general de protecciones de la instalación, este cuadro es alimentado mediante una toma desde el cuadro general de baja tensión colocado en el centro de transformación. La instalación aquí descrita parte de la existencia de una infraestructura eléctrica previa, por lo que el centro de

transformación y el cuadro general de baja tensión no forman parte del alcance de este proyecto.

A partir del cuadro general de protecciones de la instalación se alimentan los diferentes circuitos de fuerza y de mando. Se prevé la creación de cuadros secundarios, que clasificaremos según la zona que ocupen en la instalación:

- Zona 1: Cuadro de fuerza de alimentación del variador 1 y cuadro de mando del PLC Simatic S7 300.
- Zona 2: Cuadro de fuerza de alimentación del variador 2 y cuadro de mando de la ET200S-1.
- Zona 3: Cuadro de fuerza de alimentación del variador 3 y cuadro de mando de la ET200S-2.

Los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos se dispondrán de manera que exista entre ellos selectividad en el disparo frente a cortocircuitos.

7.4. Cuadro General de Protecciones de la Instalación.

En él se alojarán todos los dispositivos de corte y protección de los circuitos de alimentación de los cuadros secundarios. Estará ubicado en una sala independiente en el área de control de la instalación y estará constituida por una envolvente metálica formada por paneles adosados provistos de doble puerta delantera, la primera será transparente y bloqueada por cerradura y la segunda troquelada de tal forma que deje accesible los mandos de los interruptores automáticos ocultando a la vez las conexiones y partes metálicas en tensión para así poder realizar una sustitución y/o reparación sin tener que acceder a la parte trasera.

Los paneles constituyentes del cuadro, serán de construcción metálica en chapa de acero laminado de 3mm con IP55, realizado sobre bastidores de perfil laminado. Constructivamente, serán de ejecución modular, con paneles normalizados.

El embarrado estará constituido por dos tipos de barras fabricadas en cobre electrolítico laminado, estando todas las barras fabricadas en una sola pieza sin remaches ni soldaduras y estañadas. Se compone de tres barras de cobre electrolítico por fase y una de neutro dimensionadas para soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos que aseguran su función. La barra del neutro está situada debajo de las barras de las fases, permitiendo el embornamiento de los conductores fácilmente. Este embarrado estará plastificado mediante aislantes libres de halógenos en sus colores correspondientes.

Las salidas secundarias se han resuelto mediante interruptores automáticos de caja moldeada en material aislante, equipados con relés electrónicos regulables para protección largo retardo contra sobrecargas y protección corto retardo contra cortocircuitos o interruptores automáticos, así como interruptores diferenciales asociados, para protección contra contactos indirectos, con regulación de sensibilidad y retardo de tiempo, permitiendo su selectividad con los equipos instalados aguas abajo, en cuadros secundarios. Todos los interruptores automáticos de protección serán de

corte omnipolar y regulados según la intensidad máxima admisible del circuito a proteger. Se tendrá presente el criterio de selección creando así escalones de protección.

Las conexiones de salida de los interruptores automáticos se realizarán, en todos los casos, con terminales de presión sobre los cables de los circuitos.

En el panel de acometida se dispondrá de elementos de medida indirectos, para control de intensidad y tensión por fase.

En la cabecera de cada panel de instalará un rótulo para la identificación de su función, así como un esquema mimético en la parte frontal indicando la función de los servicios representados.

7.5. Cuadros de protección secundarios.

Los cuadros de protección y mando se realizan siguiendo en todo momento lo establecido en el REBT.

Los cuadros de protección estarán realizados en chapa electrozincada con tratamiento anticorrosivo con polvo epoxi-poliéster al calor, con puerta con cerradura y alojando en su interior los elementos de protección y mando necesarios según los esquemas unifilares correspondientes.

Cada cuadro dispondrá de interruptores automáticos magnetotérmicos para la protección contra sobrecargas y corrientes e interruptores automáticos diferenciales para la protección contra corrientes de defecto y derivaciones, siendo de alta sensibilidad (30mA) para circuitos con receptores de uso y manipulación indiscriminada y de media sensibilidad (300mA) para circuitos receptores sin posibilidad de manipulación más que por personal especializado.

Todos los elementos de protección serán de corte omnipolar.

La envolvente del cuadro, proporcionará un grado de protección mínima IP55 según UNE 20.234 e IK10 según UNE 50.102 y dispondrá de un sistema de cierre que permita el acceso exclusivo al mismo del personal autorizado, con su puerta de acceso situada a una altura comprendida entre 2m y 0,3m. Los elementos de medida irán conectados a tierra.

7.6. Líneas principales.

Estas líneas alimentarán desde el interruptor principal de salida del cuadro general de protecciones de la instalación situado en el área de mando a los cuadros secundarios de alimentación de los variadores de frecuencia. Los cables deberán tener características equivalentes a las de la norma UNE21.123 o UNE 21.1002.

La acometida se realizará con conductores de Cobre de 0,6/1 KV(cable tipo RZ1-K (AS), con aislamiento de polietileno reticulado(R) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos(Z1), libre de halógenos y resistente al fuego(AS). Para la derivación individual al cuadro se

utilizará un conductor RBT-ITC-BT-07, aplicando los factores de corrección correspondientes.

Las secciones de los conductores serán capaces de soportar sin sobrecalentamientos la potencia instalada, la potencia de cortocircuito sin superar los 250°C en el tiempo de corte del interruptor automático que lo protege, y no superar caídas de tensión que sobrepasen los límites permitidos por el reglamento vigente. Se dimensionarán conforme RBT-ITC-BT-07, aplicando los factores de corrección correspondientes.

La instalación, ya que el recinto posee características de tipo industrial con acceso restringido a los técnicos de la instalación, será en canal de obra con tapa manipulable a mano. Existirá una separación física entre la línea trifásica de 380V y la monofásica de 220V, aprovechando las dos paredes y se permitirá una correcta renovación del aire.

Se utilizarán cables trifásicos separados entre sí 2 veces el diámetro del cable unipolar que lo forma, las ternas irán abrazadas por bridas metálicas e irán puestas a tierra.

Para la conexión de los cables a las bornas de interruptores, se utilizarán terminales metálicos, que se unirán a los cables por presión garantizando una perfecta conexión sin reducción aparente de sección.

En el interior de los cuadros, estos cables se fijarán al bastidor de los mismos con el fin de liberar a las conexiones de esfuerzos mecánicos.

Los circuitos quedarán identificados mediante etiquetas donde vendrá indicado su destino, cuadro de procedencia, interruptor que los protege y características propias del cable.

7.7. Líneas de alimentación de los motores.

Estas líneas serán las que enlacen los interruptores automáticos de salida de los cuadros secundarios de los variadores con los motores. Los cables deberán tener características equivalentes a las de la norma UNE 21.123 o a la de la norma UNE 21.1002.

Para las líneas a cuadros de mando, se utilizarán conductores de cobre unipolar, aislado con poliolefinas, AFUMEX 1000, RZ1-K.

Los cables irán canalizados en bandeja perforada sin tapa y puesta a tierra en su recorrido.

7.8. Red de puesta a tierra y sistemas de protección contra contactos directos e indirectos.

Las derivaciones de la línea principal de tierra serán una por cada cuadro secundario alimentado desde el cuadro general de protecciones de la instalación y tendrán una sección igual a la indicada en la RBT-ITC-BT18, e irán formando parte de la misma canalización que los conductores a los que acompañan, como se indica en los esquemas eléctricos.

Los conductores de protección serán de igual sección y aislamiento que la fase y discurrirán canalizados bajo el canal del circuito que alimentan.

Para la protección de la instalación eléctrica y de personas se tendrán en cuenta las instrucciones RBT-ITC-BT22,23,24 del REBT en lo que se refiere a la protección contra sobreintensidades, sobretensiones, contactos directos y contactos indirectos.

Contactos Indirectos (RBT-ITC-BT-24): La protección contra corrientes de defecto se realiza por medio de interruptores automáticos diferenciales de sensibilidad media (300mA) en líneas de Fuerza motriz y de alta sensibilidad (30mA) en líneas de tomas de corriente y alumbrado, en asociación con un circuito de puestas a tierra, dimensionando de forma que la tensión de defecto no alcance un valor superior a 50V, en zonas secas, y a 24V en zonas húmedas, para lo que es suficiente con alcanzar una resistencia máxima de tierra de 800Ohm, para el caso más desfavorable (los valores prácticos de la resistencia de puesta a tierra serán mucho menores).

Contactos Directos (RBT-ITC-BT-24): el contacto directo es un contacto de personas con partes activas de los distintos materiales y equipos existentes en la instalación, según la proximidad. Las medidas que se tomarán para evitar en la medida de lo posible estos contactos son:

1. Alejamiento de las partes activas de la instalación
2. Interposición de obstáculos que impidan el contacto accidental con partes activas de la instalación.
3. Recubrimiento de las partes activas de la instalación por medio de un aislamiento apropiado.

7.9. Corrección del factor de potencia.

El hecho de instalar un condensador generador de energía reactiva es la manera más simple, flexible y rápidamente amortizada de asegurar un buen factor de potencia. Esto se llama compensar una instalación.

El cálculo de la batería de condensadores se realizará mediante el software de Labview, llamado Supervisión, colocando los transductores de corriente y tensión en las tomas de entrada del cuadro general de protecciones de la instalación, para conocer el consumo global de potencia reactiva de la instalación.

7.10. Dimensionamiento de sección de cables

En este apartado se realizarán los cálculos para obtener las diferentes secciones de los cables de la instalación.

7.10.1. Normativa a tener en cuenta.

Instrucción ITC-BT-07

Las intensidades máximas admisibles para los conductores de redes subterráneas y acometidas, en régimen permanente serán las especificadas según el tipo de conductor y condiciones de la instalación del mismo por las normas UNE que correspondan. En caso

de no existir éstas, serán aplicables las tablas III, IV y V que figuran en el ITC-BT 007, para conductores de cobre y aluminio de 0,6/1kV teniéndose en cuenta los factores modificados que se detallan.

Instrucción RBT-ITC-19

Caídas de tensión: Para instalaciones industriales, que se alimenten directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio, se considera que la instalación interior en baja tensión tiene su origen en la salida del transformador. En este caso las caídas de tensión máximas admisibles serán de 4,5% para alumbrado y 6% para demás usos.

El número de aparatos susceptibles de funcionar simultáneamente, se determinará en cada caso particular, de acuerdo con las instrucciones incluidas en el presente reglamento y en su defecto con las indicaciones facilitadas por el usuario considerando una utilización racional de los aparatos.

En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas debidas a cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del conductor mínimo será igual a la de las fases.

Instrucción RBT-ITC-BT-47

Motores ordinarios: Se contemplan las prescripciones referentes a la estimación de potencia para un motor o conjunto de motores, mediante el sobredimensionamiento de 1,25 veces la potencia nominal. Se protegerán los motores contra sobrecorrientes y faltas de tensión, la potencia de arranque estará limitada.

7.10.2. Criterios para el cálculo de la sección del cable.

El cable debe seleccionarse de acuerdo con las características del servicio que ha de prestar.

Una vez determinado el tipo de cable, la tensión nominal y la sección más adecuada, según los criterios que se indicarán, sería aconsejable, comprobar si no sería más conveniente adoptar una sección mayor que la precisa desde un punto de vista exclusivamente técnico, pues en este caso, los costes del servicio causados, por las pérdidas en el cable se reducen, y el mayor gasto de adquisición del cable se amortiza al cabo de cierto tiempo.

La planificación de los cables necesarios en una instalación determinada exige conocer previamente una serie de datos de acuerdo con la aplicación y las condiciones de servicio.

Datos de partida que se deben considerar para una correcta definición de un cable.

- Tensión nominal de la red.
- Naturaleza de la corriente: continua, alterna, monofásica trifásica, etc.

- Finalidad de la instalación.
- Forma de tendido: interior, exterior, enterrada, etc.
- Material conductor deseado (cobre, aluminio).
- Longitud de línea.
- Condiciones de puesta a tierra.
- Posibilidad de la presencia de sobretensiones.
- Potencia a transmitir o intensidad de la corriente.
- Naturaleza del servicio: permanente, intermitente.
- Datos del cortocircuito.

Distribución monofásica:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} \quad (2)$$

Distribución trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

Siendo:

V	Tensión en voltios.
P	Potencia en vatios.
I	Intensidad de corriente en amperios.
Cos φ	factor de potencia.

Para determinar la sección de los cables se utilizarán tres métodos de cálculo distintos:

1. Por máxima capacidad amperimétrica o térmica.
2. Por máxima caída de tensión en la instalación.
3. Limitación de la caída de tensión en cada tramo.

Adoptaremos la sección nominal más desfavorable de las tres resultantes.

Caída de tensión:

Una vez determinada la sección, calcularemos la caída de tensión en el tramo aplicando las siguientes fórmulas:

- Distribución monofásica: $S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{c \cdot u \cdot V}$ (4)

- Distribución trifásica: $S = \frac{P \cdot L}{c \cdot u \cdot V}$ (5)

Siendo:

u	caída de tensión en porcentaje.
S	Sección del cable en milímetros cuadrados.
c	Conductividad del cobre en siemens.
L	Longitud del tramo en metros.
P	Potencia del cálculo en vatios.
V	Tensión de línea en voltios.

7.10.3. Cálculos de secciones.

– Línea 1.

Se realizan los cálculos del primer circuito, correspondiente a la línea que une el cuadro general de protecciones de la instalación con el cuadro del variador 1.

La potencia de este variador es de 55kW, la línea de sobredimensionará ante ampliaciones futuras, por lo que la potencia de referencia utilizada en los cálculos será de 70kW. El factor de potencia utilizado será el obtenido de las hojas de características de los motores.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{70000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88} = 115A$$

La instalación de tipo subterráneo, realizada en canal de obra con tapa manipulable a mano, estará constituido por un cable tripolar, con una colocación que permita una eficaz renovación del aire, e irá montado sobre una bandeja perforada.

Ahora se van a determinar los factores de corrección según la ITC-BT-07 (redes de distribución subterránea en baja tensión), para determinar la intensidad máxima por capacidad térmica:

En el caso a estudiar se tiene un conductor con aislamiento de polietileno reticulado o XLPE, lo que nos permite según la Tabla 1 una temperatura de servicio permanente de

90°C y estimando que la temperatura sea de 45°C en verano, entonces se estima un coeficiente de 0,95, según la Tabla 2.

Tipo de Aislamiento seco	Temperatura máxima °C	
	Servicio permanente	Cortocircuito $t \leq 5s$
Policloruro de vinilo (PVC) $S \leq 300 \text{ mm}^2$ $S > 300 \text{ mm}^2$	70	160
	70	140
Polietileno reticulado (XLPE)	90	250
Etileno Propileno (EPR)	90	250

Tabla 1. Cables aislados con aislamiento seco; temperatura máxima, asignada al conductor (Fuente: Tabla del ITC-BT-07[3]).

Temperatura de servicio Θ_s en °C	Temperatura ambiente, Θ_a , en °C										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
90	1.27	1.22	1.18	1.14	1.10	1.05	1	0.95	0.90	0.84	0.77
70	1.41	1.35	1.29	1.22	1.15	1.08	1	0.91	0.81	0.71	0.58

Tabla 2. Coeficiente de corrección F para temperaturas ambiente distintas de 40°C (Fuente: Tabla del ITC-BT-07[3]).

El coeficiente aplicable a la agrupación de los circuitos, en bandejas perforadas, será de 1, ya que contamos con tres líneas, cada una dispuesta en una bandeja independiente.


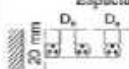
Tipo de instalación		N° de circuitos trifásicos (1)						
		N° de bandejas	1	2	3	4	6	9
Bandejas perforadas (2)	 Contiguos	1	1,00	0,90	0,80	0,80	0,75	0,75
		2	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70
		3	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
	 Espaciados	1	1,00	1,00	1,00	0,95	0,90	-
		2	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	-
		3	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	-

Tabla 3. Factor de corrección para agrupación de cables trifásicos. (Fuente: Tabla del ITC-BT-07[3]).

Entonces la intensidad máxima por calentamiento es:

$$I = \frac{115}{0,95 \cdot 1} = 121A$$

Con este valor y el tipo de aislante XLPE, según la tabla 4 extraída del ITC-BT-07 que aparece a continuación, se tendrá una sección de 35mm^2 .



Sección nominal mm ²	Tres cables unipolares (1)			1 cable trifásico		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	46	45	38	44	43	36
10	64	62	53	61	60	50
16	86	83	71	82	80	65
25	120	115	96	110	105	87
35	145	140	115	135	130	105
50	180	175	145	165	160	130
70	230	225	185	210	220	165
95	285	280	235	260	250	205
120	335	325	275	300	290	240
150	385	375	315	350	335	275
185	450	440	365	400	385	315
240	535	515	435	475	460	370
300	615	595	500	545	520	425
400	720	700	585	645	610	495
500	825	800	665	-	-	-
630	950	915	765	-	-	-

Tabla 4. Intensidad máxima admisible, en servicio permanente, para cables con conductores de cobre en instalación al aire en galerías ventiladas (Fuente: Tabla del ITC-BT-07[3]).

Calculamos la sección por el criterio de caída de tensión del circuito:

$$S = \frac{P \cdot L}{c \cdot u \cdot V} = \frac{70000 \cdot 50}{56 \cdot 24 \cdot 380} = 6,51 \text{ mm}^2$$

Entonces según la ITC-BT-07 y la ITC-BT-47 se elige el conductor por fase de sección 35 mm² y una sección de neutro según la Tabla 5, que será de 16 mm².

Conductores fase (mm ²)	Sección neutro (mm ²)
6 (Cu)	6
10 (Cu)	10
16 (Cu)	10
16 (Al)	16
25	16
35	16
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Tabla 5. Secciones de neutro según sección de fase (Fuente: Tabla del ITC-BT-07[3]).

– Línea 2.

En este apartado se realizarán los cálculos de la línea de conexión del cuadro general de protecciones con el cuadro de alimentación del variador 2.

La potencia de este variador es de 250kW, la línea de sobredimensionará ante ampliaciones futuras, por lo que la potencia de referencia utilizada en los cálculos será de 300kW. El factor de potencia utilizado será el obtenido de las hojas de características de los motores.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{300000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88} = 517 A$$

De igual manera que en el caso anterior, y dado que esta línea ha sido tendida en una bandeja perforada de similares características y en el mismo canal de obra, aplicamos los mismos factores de corrección:

$$I = \frac{431}{0,95 \cdot 1} = 545 A$$

Por el criterio de caída de tensión:

$$S = \frac{P \cdot L}{c \cdot u \cdot V} = \frac{300000 \cdot 150}{56 \cdot 24 \cdot 380} = 73 mm^2$$

Entonces según la ITC-BT-07 y la ITC-BT-47 se elige el conductor por fase de sección 400 mm² con sección de neutro de 185 mm².

– Línea 3

Línea del Cuadro general de protecciones al cuadro de alimentación del variador 3.

La potencia de este variador es de 55kW, la línea de sobredimensionará ante ampliaciones futuras, por lo que la potencia de referencia utilizada en los cálculos será de 70kW. El factor de potencia utilizado será el obtenido de las hojas de características de los motores.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{70000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88} = 115 A$$

$$I = \frac{115}{0,95 \cdot 1} = 121 A$$

Por el criterio de caída de tensión:

$$S = \frac{P \cdot L}{c \cdot u \cdot V} = \frac{70000 \cdot 250}{56 \cdot 24 \cdot 380} = 32 mm^2$$

Entonces según la ITC-BT-07 y la ITC-BT-47 se elige el conductor por fase de sección 50 mm² y una sección de neutro según la tabla, que será de 25 mm².

– Línea 4

Línea del cuadro general de protecciones al cuadro de mando del PLC.

Se trata de una línea monofásica a 230V, que se utilizará para alimentar el PLC y los equipos auxiliares de éste, está sobredimensionada para admitir futuras ampliaciones.

La potencia estimada de consumo de los equipos de mando, teniendo en cuenta el criterio seguido de sobredimensionar de la instalación será de 10kW.

La corriente nominal será:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} = \frac{10000}{220 \cdot 0,88} = 49A$$

Aplicando los factores de corrección

$$I = \frac{49}{0,95 \cdot 1} = 52A$$

Por el criterio de caída de tensión:

$$S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{c \cdot u \cdot V} = \frac{10000 \cdot 50}{56 \cdot 13,8 \cdot 220} = 2,81mm^2$$

Entonces según la ITC-BT-07 y la ITC-BT-47 se elige el conductor por fase de sección 10 mm² y una sección de neutro que será de 10 mm².

De forma análoga se realiza el cálculo de las demás líneas principales.

7.10.4. Lista de cuadros y previsión de cargas.

1. Cuadro general de protecciones de la Instalación (CGP)

CGP						
Circuito	V	P	d	I _N	I _{máx}	Sección
de CGP a CV1	380 V	70kW	50m	121A	165A	3F50mm ² /N25mm ²
de CGP a CV2	380 V	300 kW	150m	518A	645A	3F400mm ² /N185mm ²
de CGP a CV3	380 V	70 kW	250m	121A	165A	3F50mm ² /N25mm ²
de CGP a CMPLC	220 V	10 kW	50m	52A	64 A	1F10mm ² /N10mm ²
de CGP a CMET1	220 V	10 kW	150m	52A	64 A	1F10mm ² /N10mm ²
de CGP a CMET2	220 V	10 kW	250m	52A	64 A	1F10mm ² /N10mm ²

Tabla 6. Cuadro general de protecciones de la instalación.

2. Cuadro de alimentación del variador 1.

CV1						
Circuito	V	P	d	I _N	I _{máx}	Sección
de CV1 a M1	380 V	55kW	20m	97A	165A	3F50mm ² /N16mm ²
de CV1 a Servicios	220 V	5 kW	30m	22 A	64A	1F10mm ² /N10mm ²

Tabla 7. Cuadro secundario de alimentación del variador 1.

3. Cuadro de alimentación del variador 2.

CV2						
Circuito	V	P	d	I_N	I_{max}	Sección
de CV2 a M2	380 V	75kW	70m	120A	210A	3F70mm ² /N35mm ²
de CV2 a M3	380 V	75 kW	20m	120A	210A	3F70mm ² /N35mm ²
de CV2 a M4	380 V	75kW	70m	120A	210A	3F70mm ² /N35mm ²
de CV2 a Servicios	220 V	5 kW	200m	22 A	64 A	1F10mm ² /N10mm ²

Tabla 8. Cuadro secundario de alimentación del variador 2.

4. Cuadro de alimentación del variador 3.

CV3						
Circuito	V	P	d	I_N	I_{max}	Sección
de CV3 a M3	380 V	55kW	70m	97A	165A	3F50mm ² /N16mm ²
de CV3 a Servicios	220V	5 kW	20m	22A	64A	1F10mm ² /N10mm ²

Tabla 9. Cuadro secundario de alimentación del variador 3.

5. Cuadros de mando.

Los cuadros de mando son aquellos que albergan los diferentes equipos de control de la instalación. Principalmente están constituidos por una fuente de alimentación SITOP, que alimentada a 220 V AC da una salida de 24V DC, necesaria para alimentar la CPU, las tarjetas de entradas, salidas y los equipos periféricos ET200S. Adicionalmente se alimentan también los sensores de campo a 24V. Los equipos de señalización de las cintas se alimentan directamente de la red de 220V.

Los circuitos de conexión de los contactores de mando a 220V AC se hacen a través de los relés que se accionan a 24V DC desde las salidas del PLC.

La potencia consumida tanto por el PLC como por sus periféricos es inferior a 1kW para cada uno, esta potencia así como la necesaria para alimentar los demás equipos está sobradamente contemplada en la previsión de cargas y prevé futuras ampliaciones.

Estos equipos cumplen las normas ITC-BT 36 para instalaciones a muy baja tensión.

Las secciones de los cables de entradas y salidas del PLC y sus periféricos están normalizadas de acuerdo a su manual de instrucciones, de esta manera para el cableado de sensores, contactores, pulsadores de emergencia y relés se utilizarán cables de sección 1,5 mm².

Las secciones de los cables de alimentación de los equipos de señalización serán de 2,5mm².

7.11. Protecciones de los circuitos principales.

En este apartado se hará un resumen de los equipos de protección necesarios según las instrucciones ITC-BT-22,23 y 24, del REBT.

7.11.1. Condiciones generales de protección de los circuitos de la instalación.

En este subapartado se resumen los conceptos utilizados para la selección de los equipos de protección de acuerdo a las normativas, agrupando los diferentes equipos dependiendo de sus funciones a cumplir dentro de la instalación.

7.11.1.1. Protección contra cortocircuitos:

Según ITC-BT-22, en el comienzo de todo circuito se establecerá un dispositivo de protección frente a cortocircuitos cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su conexión. Se admite, no obstante, que cuando se trate de circuitos derivados de uno principal, cada uno de estos circuitos derivados disponga de protección contra sobrecarga, mientras que un solo dispositivo general pueda garantizar la protección contra cortocircuitos para todos los circuitos derivados.

La impedancia de cortocircuito en un punto de la red de B.T. se calcula sumando a la impedancia del transformador la impedancia de la red hasta el punto de defecto. La impedancia de los conductores que forman la instalación viene dada por los fabricantes de los cables en función del tipo de cable y de su longitud.

Cross section	Conductor			Core	Weight
nom. mm ²	nom. n x mm dia.	dia. max. mm	R ₂₀ IEC 60228 max. Ω/km	dia. mm	nom. kg/100 m
0.5	19 x 0.18	0.95	40.1	2.40 ± 0.10	1.1
0.75	24 x 0.20	1.2	26.7	2.65 ± 0.10	1.3
1.0	32 x 0.20	1.3	20.0	2.80 ± 0.10	1.6
1.5	30 x 0.25	1.6	13.7	3.05 ± 0.10	2.2
2.5	48 x 0.25	2.1	8.21	3.55 ± 0.10	3.1
4.0	56 x 0.30	2.6	5.09	4.20 ± 0.15	4.8
6.0	81 x 0.30	3.4	3.39	4.85 ± 0.15	6.5
10	78 x 0.40	4.4	1.95	5.85 ± 0.15	11.0
16	119 x 0.40	5.4	1.24	6.95 ± 0.15	16.3
25	182 x 0.40	6.7	0.795	8.70 ± 0.20	24.4
35	266 x 0.40	7.9	0.565	9.90 ± 0.20	34.3
50	378 x 0.40	9.4	0.393	11.6 ± 0.20	50.2
70	348 x 0.50	11.5	0.277	14.0 ± 0.25	68.8
95	444 x 0.50	12.9	0.210	15.4 ± 0.25	87.9
120	551 x 0.50	14.8	0.164	17.8 ± 0.30	109
150	722 x 0.50	17.0	0.132	20.0 ± 0.30	140
185	874 x 0.50	18.5	0.108	22.0 ± 0.30	170
240	1147 x 0.50	21.3	0.0817	25.0 ± 0.30	226
300	1443 x 0.50	23.9	0.0654	27.8 ± 0.30	276

Tabla 10. Resistencias para diferentes secciones de cable de cobre en función de la distancia, catalogo del fabricante Huber Suhner.

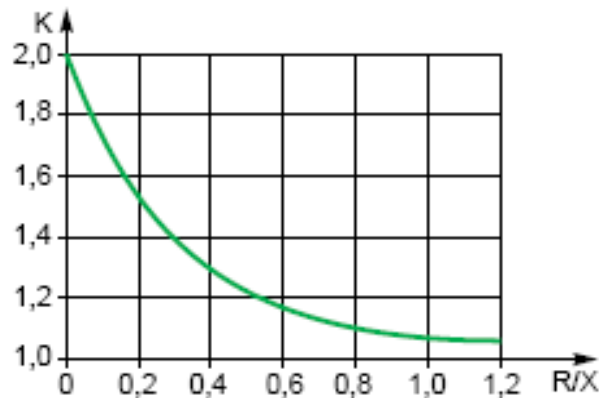


Figura 11. Variación del factor K en función de R/X. Imagen del reglamento técnico Schneider electric.

Para la selección del interruptor automático se siguen los siguientes criterios:

$$PdC > I_{ccmax} \quad (6)$$

$$I_{ccmin} > I_a \quad (7)$$

Donde:

PdC	Poder de corte en amperios.
I_{ccmin}	Corriente de cortocircuito mínima en amperios.
I_{ccmax}	Corriente de cortocircuito máxima en amperios.
I_a	Corriente de actuación del interruptor.

7.11.1.2. Protección contra sobrecarga:

Se produce una sobrecarga en un circuito eléctrico cuando la intensidad que circula es superior a la admisible o nominal, sin que haya defecto de aislamiento.

Para la elección de un interruptor automático se siguen los siguientes criterios:

$$1. I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (8)$$

$$2. I_2 = 1,45 \cdot I_Z \quad (9)$$

Donde:

I_B	Intensidad de empleo o utilización en amperios.
I_n	Intensidad nominal del aparato en amperios.
I_Z	Intensidad máxima admisible del conductor en amperios.
I_2	Intensidad convencional de funcionamiento del aparato de protección en amperios.

Selectividad, coordinación de los dispositivos de corte, entre interruptor automático situado en el escalón superior y el situado en el escalón inferior.

En sobrecarga: hay selectividad cuando el calibre del interruptor “aguas arriba” es superior al del interruptor “aguas abajo” (si son del mismo tipo de curva de disparo). Se considera que existe selectividad cuando las intensidades nominales están en una relación aproximada de 1,6.

En cortocircuito: hay selectividad si la intensidad de cortocircuito es inferior a la intensidad de regulación del disparador electromagnético (I_{al}) del interruptor automático situado en el escalón de protección superior o “aguas arriba” o que éste tenga un retardo en su tiempo de respuesta.

7.11.1.3. Cálculos de cortocircuitos de las líneas principales.

Para el cálculo de las líneas principales desde el cuadro general de protección (CGP) a los cuadros de alimentación de los variadores, utilizaremos las expresiones:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}} \quad (10)$$

$$I'_{cc} = I_{cc} \cdot \sqrt{2} \cdot K \quad (11)$$

Donde:

I_{cc}	Intensidad de cortocircuito en amperios.
V	Tensión nominal en voltios.
Z_{cc}	Impedancia de cortocircuito.
K	Factor de corrección del umbral del relé magnético.

	$L_1 = 50m$	$L_2 = 150m$	$L_3 = 250m$
R_{al}	0,0019 Ω	0,0098 Ω	0,0098 Ω
X_{al}	0,0015 Ω	0,0045 Ω	0,0075 Ω
$R_{Transformador.}$	0,0065 Ω	0,0065 Ω	0,0065 Ω
$X_{Transformador.}$	0,0112 Ω	0,0112 Ω	0,0112 Ω
R_{cc}	0,0084 Ω	0,0084 Ω	0,0163 Ω
X_{cc}	0,0127 Ω	0,0157 Ω	0,0187 Ω
Z_{cc}	0,0152 Ω	0,0178 Ω	0,0248 Ω
$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}}$	15131 A	12921 A	9274 A
R_c / X_c	0,66	0,53	0,87
K	1,1	1,2	1,1
$I_{cc} \cdot \sqrt{2} \cdot k$	16644 A	15505 A	10201 A

Tabla 11. Cálculo de cortocircuito de las líneas principales.

Realizamos los cálculos de cortocircuitos para las líneas que alimentan los cuadros de mando desde el CGP.

	$L_4 = 50\text{m}$	$L_5 = 150\text{m}$	$L_6 = 250\text{m}$
R_{al}	0,0975 Ω/km	0,1192 Ω/km	0,4875 Ω/km
X_{al}	0,0225 Ω/km	0,15 Ω/km	0,0225 Ω/km
$R_{\text{Transformador.}}$	0,0065 Ω	0,0065 Ω	0,0065 Ω
$X_{\text{Transformador.}}$	0,0112 Ω	0,0112 Ω	0,0112 Ω
R_{cc}	0,1040 Ω	0,1257 Ω	0,4940 Ω
X_{cc}	0,0127 Ω	0,0157 Ω	0,0187 Ω
Z_{cc}	0,1045 Ω	0,1266 Ω	0,4943 Ω
$I_{cc} = \frac{V}{Z_{cc}}$	2200A	1817 A	465 A
R_c / X_c	8	8	12
K	1	1	1
$I_{cc} \cdot \sqrt{2} \cdot k$	2200 A	1817 A	465 A

Tabla 12. Cálculo de cortocircuitos de las líneas a los cuadros de mando.

7.11.1.4. Selección de las protecciones.

Para la líneas 1 y 3 se ha seleccionado un interruptor automático magnetotérmico de corte omnipolar, del fabricante Siemens modelo 3VT1 con protección contra sobrecarga de 160A y protección instantánea contra cortocircuitos a 1600A y un poder de corte máximo de 25kA.

Para la línea 2, se ha seleccionado el Sentron 3WL del fabricante Siemens, con protección de sobrecarga de 630A, protección instantánea contra cortocircuitos de 4000A y poder máximo de corte 52kA.

Para las línea 4, 5 y 6 se ha optado por un interruptor automático de corte omnipolar, modelo 3VT1 del fabricante Siemens con disparador térmico de sobrecarga ajustable a 63 A y disparador de cortocircuito ajustable a 441A y poder de corte máximo a 25kA. Para la protección de contactos indirectos se utilizarán protecciones diferenciales de clase A inmunizadas, debido a la presencia de variadores de frecuencia, de 300mA.

7.12. Cálculo de protecciones de las líneas secundarias.

En esta apartado además de concretar las protecciones de los diferentes equipos, se seguirán los criterios de selectividad entre protecciones.

Para las líneas de alimentación de los motores 1 y 5, que partirían de las bornas de salida de los variadores correspondientes hasta los motores. Los variadores de frecuencia Micromaster 440 cuentan con protecciones integradas del motor:

1. Protección contra sobrecargas, mediante la limitación instantánea de la corriente de alimentación del motor a 1,5 veces la corriente nominal aproximadamente. También por el cálculo permanente de $I^2 \cdot t$, teniendo en cuenta la velocidad, ya que la mayoría de los motores son autoventilados y se refrigeran peor a velocidades bajas y también permitiendo la colocación de sensores de

temperatura en el propio motor que permitan un mejor cálculo de la temperatura del motor.

2. Protección contra cortocircuitos. En caso de cortocircuito entre fases a la salida del variador, ya sea en bornes del motor o en cualquier lugar de la línea, se detecta la sobreintensidad y se manda rápidamente una orden de bloqueo a los IGBTs. La corriente de cortocircuito se detiene en unos pocos microsegundos lo que asegura la protección del variador.
3. Protección de sobretensiones a frecuencia industrial de la red.
4. Protección de corte de una fase que podría producir aumento de la corriente al pasar de alimentación trifásica a monofásica.

Para el caso concreto de las líneas de alimentación de los motores 3, 4 y 5, el Micromaster440 no tiene la capacidad de detectar la sobrecarga de uno solo de los motores que alimenta, por lo que esta protección debe colocarse de forma individual en cada uno de ellos, de manera que sea capaz de aguantar las corrientes de arranque del motor y que permita la selectividad con los interruptores automáticos situados aguas arriba.

Se ha seleccionado un relé térmico de sobrecarga modelo b177S del fabricante AEG, con disparo ajustable entre 100A y 200A, que se ajustará a 180A. Se colocarán tres relés térmicos en cada una de las líneas que une el variador con los motores, estos irán montados sobre carril en el armario CV2 a la salida del variador V2.

Para el resto de las líneas que unen los cuadros de mando con las señalizaciones de luz y sonido de las cintas, se utilizarán interruptores automáticos bipolares de 16A modelo 3VT1 del fabricante Siemens, colocando cada uno en sus respectivos armarios de mando.

Se utilizarán protecciones diferenciales en estos circuitos de 30 mA.

8. Descripción del software.

En este apartado se realizará una descripción de los programas utilizados en el proyecto, así como de sus características más importantes.

8.1. Labview (Laboratory Virtual Engineering Workbench).

8.1.1. Descripción general

Labview es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde G simboliza que es lenguaje Gráfico. La elección de este software para la programación del algoritmo de control se hizo en función de las características de este frente a otros lenguajes como C++ [10]:

- Es muy simple de manejar, debido a que está basado en un nuevo sistema de programación gráfica.
- Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de representación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y elaborados. Estos serían complicados de realizar en bases como C++ donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería muchas veces mayor.
- Es un programa de gran potencia donde se cuentan con librerías especializadas para manejos de DAQ, redes, comunicaciones, análisis estadístico, comunicación con Bases de Datos.
- Es posible el uso de otros bloques creados anteriormente, como aplicaciones realizadas por otras personas, dado que la programación se realiza creando subrutinas en módulos de bloques,

Se trata pues, de un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, telemática, juegos, manejo de textos, etc. Cada programa realizado en LabView será llamado instrumento virtual [11].

La programación en LabVIEW se realiza mediante dos ventanas que interactúan una con la otra, el panel frontal y el panel de control.

El panel frontal es la ventana que diseñamos para la visualización y ejecución del programa, en esta ponemos todos los botones, indicadores y pantallas que queremos que se visualicen y que el usuario del programa pueda controlar.

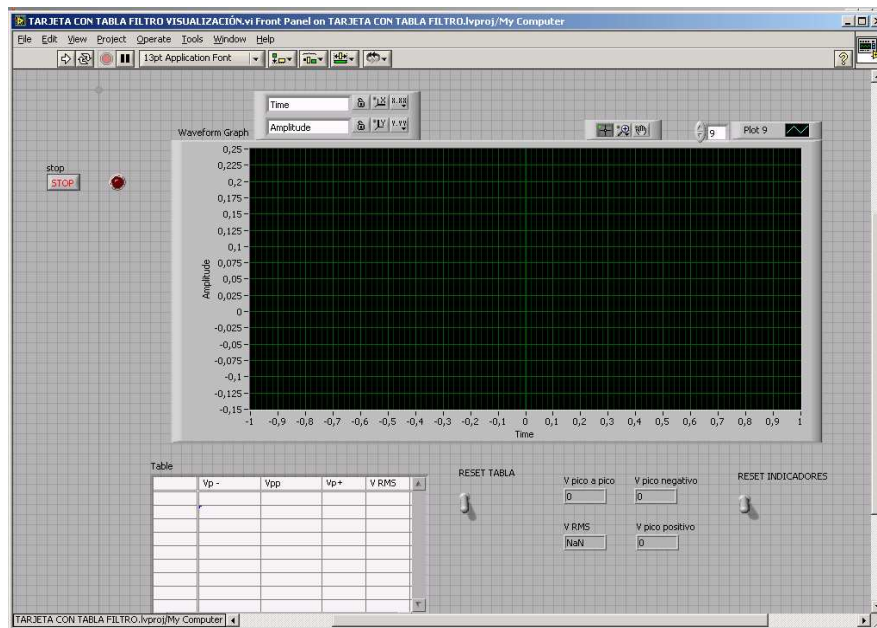


Figura 12. Panel frontal de Labview. Imagen de las primeras versiones del programa.

Por otro lado está el panel de control, que es la parte donde se realiza la programación gráfica, todos los instrumentos seleccionados en el panel frontal aparecen también aquí y en esta ventana los conectamos mediante cables virtuales, junto con más componentes que nos permiten desarrollar el algoritmo y organizar las tareas que luego se visualizarán en el panel frontal [10].

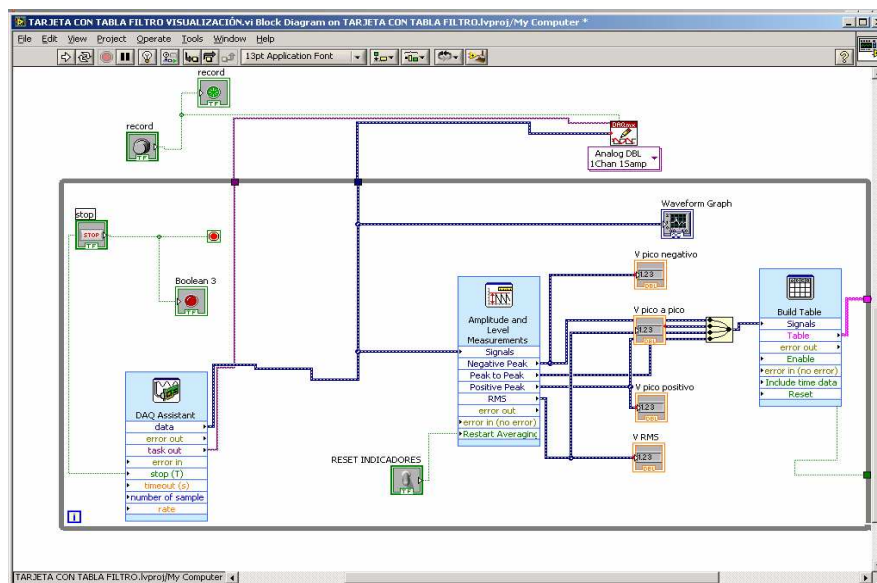


Figura 13. Panel de control de Labview. Imagen de las primeras versiones del programa.

8.1.2. Utilización en el proyecto.

El programa se utilizará en el proyecto para la creación de una herramienta informática capaz de capturar mediante una tarjeta de adquisición de datos, las señales de corrientes y tensiones y realizar las siguientes funciones:

- Representación de las señales, con accesos a los distintos canales que se quieran visualizar, con filtrado de ruidos.
- Utilización de cursores para realizar mediciones entre señales.
- Visualización de los valores eficaces y valores de amplitud de cada una de las señales.
- Cálculo de los valores más relevantes del sistema, como son la potencia activa, la potencia reactiva y el factor de potencia.
- Cálculos de baterías de condensadores para la mejora del factor de potencia.
- Grabación de las señales seleccionadas y posterior visualización de éstas.

8.2. Starter.

8.2.1. Descripción general

Programa de control de variadores de frecuencia de Siemens, para todo tipo de motores. Se configura mediante parámetros, estos se pueden agrupar en dos tipos, los parámetros “p”, que son los que podemos modificar dentro de sus propias especificaciones para ajustar el funcionamiento del motor y los “r” que son parámetros de visualización [4].

Los parámetros se agrupan según su temática y la profundidad de configuración que se quiera tener, destacando:

- Parámetros generales: del r0000 al p0014, aquí se encuentran los parámetros de configuración del convertidor entre los que destacamos el p0003, que define el nivel de acceso del convertidor y p0010 que es el parámetro de puesta en marcha y que utilizaremos para configurarlo.
- Parámetros del convertidor: del p0100 al p0295, aquí se define el tipo de convertidor, las unidades que vas a utilizar, la utilización que va tener y sus características nominales de tensión, corriente, frecuencia, etc.
- Parámetros del motor: del p0300 al r0396, en los que se aportan los datos de la placa de características del motor, del circuito eléctrico equivalente y del circuito magnético equivalente.
- Parámetros de los modos de control: p1300 al r1787 aquí se define el tipo de regulación que vamos hacer según la aplicación entre los que destacamos el control vectorial y el control en tensión frecuencia.

También contamos con un código de fallos y alarmas, siendo la letra “f” para los fallos, se destacan el F0001 para sobrecorrientes o el F0002 para sobretensiones, y la letra “a” para las alarmas destacando A0501 para el límite de sobrecorrientes y el A0502 para límite de sobretensión [4].

El programa Starter está compuesto principalmente por tres ventanas:

- Navegador del proyecto: se muestran los accionamientos que se están usando o se han introducido, permite cargar las configuraciones de cada uno de los variadores sobre los que se puede tener control o cargar diferentes configuraciones para un mismo variador.
- Área de trabajo: en esta área se ejecutan las tareas de puesta en marcha de los accionamientos.
- Vista detallada: contiene información detallada sobre el accionamiento y permite ejecutar funciones en línea, tales como asumir el control con el PC o visualizar alarmas.

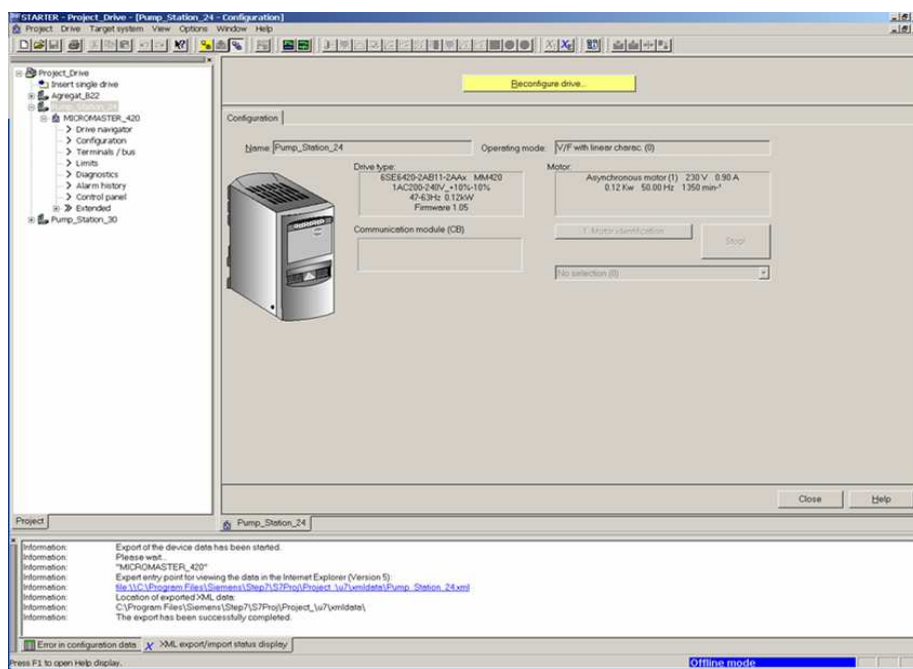


Figura 11. Panel principal de Starter.

El programa Starter dispone de una serie de funciones de configuración rápida que nos permiten realizar los ajustes más básicos para aplicaciones de tipo estándar y por otro lado una configuración avanzada para aplicaciones más específicas.

La conexión del variador de frecuencia con el PC, se realiza mediante un cable serie desde este último hasta el panel de conexión del variador.

Starter permite realizar búsquedas de todos los dispositivos que se encuentran conectados al PC de mando. A partir de esto se podrá trabajar con cada uno de ellos, todos los cambios realizados se hacen sobre la memoria RAM del propio variador y con opción a guardarlo en su ROM [4].

La configuración básica de los variadores se realiza en modo desconectado y mediante la introducción de los parámetros de la placa de características del motor, esta se guarda en un archivo de proyecto creado para tal efecto. Véase la siguiente figura como un ejemplo de una típica placa de características de un motor y los datos más relevantes utilizados en la configuración del variador.

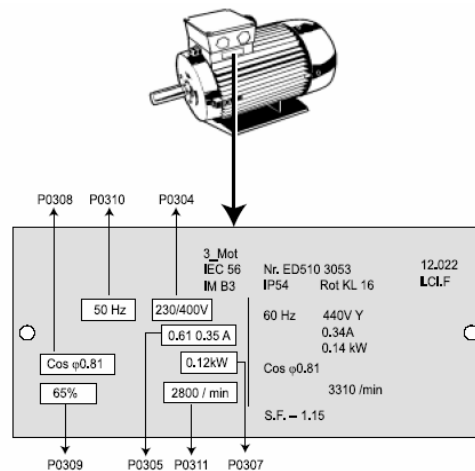


Figura 12. Ejemplo de placa de características de un motor. Manual de Micromaster 440.

Starter tiene un conjunto de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, y puertas lógicas AND, OR, etc que pueden ser configuradas fácilmente desde la ventana de área de trabajo.

8.2.2. Utilización en el proyecto.

Starter se utilizará como herramienta de configuración de los variadores de frecuencia, aplicando parametrizaciones específicas para cada variador dependiendo de la función a desempeñar en la instalación.

8.3. Step7.

En este apartado se realiza una descripción del software utilizado para la programación del PLC.

8.3.1. Descripción general.

Step7 es el software estándar para programar y configurar los sistemas de automatización Simatic, del fabricante Siemens [9].

Las funciones principales que se pueden desarrollar con el software son:

- Crear y gestionar proyectos.
- Configurar y parametrizar el hardware y la comunicación.
- Gestionar símbolos.
- Crear programas.
- Cargar programas en sistemas de destino.
- Comprobar el sistema automatizado.
- Diagnosticar fallos de la instalación.

Existen tres lenguajes de programación KOP, AWL y FUP que son parte integrante del software estándar [5].

- KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. La sintaxis de las instrucciones es similar a la de un esquema de circuitos. KOP

permite observar la circulación de la corriente a través de contactos, elementos complejos y bobinas.

- AWL (lista de instrucciones) es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En un programa creado en AWL, las instrucciones equivalen en gran medida a los pasos con los que la CPU ejecuta el programa. Para facilitar la programación, AWL se ha ampliado con estructuras de lenguajes de alto nivel (tales como accesos estructurados a datos y parámetros de bloques).
- FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros del álgebra booleana para representar la lógica. Asimismo, permite representar funciones complejas (p.ej. funciones matemáticas) mediante cuadros lógicos.

8.3.2. Utilización en el proyecto

La herramienta de programación Step7 permitirá la creación de un proyecto de automatización donde se destaca: la configuración hardware de los equipos a utilizar, la creación de un software de control y la gestión de una red profibus de comunicaciones.

8.4. Profibus (Process Field Bus).

8.4.1. Descripción general.

Profibus es un estándar de comunicaciones para bus de campo, empleado para la interconexión de dispositivos de campo de entradas y salidas simples con PLCs y PCs. Tiene un amplio rango de aplicaciones en automatización de fabricación, procesos y construcción [9].

Se distinguen dos tipos de estaciones, dentro de una red profibus:

- Maestro (activo): pueden controlar el bus y transferir mensajes sin una petición remota.
- Esclavas (pasivas): sólo pueden reconocer mensajes recibidos o transferir datos después de una petición remota.

La configuración mínima será por tanto o bien entre un maestro y un esclavo o bien entre dos maestros. La siguiente figura muestra un ejemplo de configuración.



Figura 13. Ejemplo de una red Profibus. Manual de Step7.

Las características técnicas más relevantes [7]:

- Velocidades de transmisión: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000 Kbps.
- Número máximo de estaciones: 127 (32 sin utilizar repetidores).
- Distancias máximas alcanzables (cable de 0.22 mm de diámetro):
 - 93.75 KBaudios: 1200 metros
 - 187.5 KBaudios: 600 metros
 - 500 KBaudios: 200 metros
- Las estaciones pueden ser activas (maestros) o pasivas (esclavos).
- Las conexiones son de tipo bidireccionales, multicast o broadcast.

El protocolo de transmisión se inicia desde la estación que dispone del testigo, el intercambio de mensajes tiene lugar en ciclos. Un ciclo de mensaje consiste en el envío de una trama por una estación maestra y el reconocimiento o la respuesta por parte de una maestra o una esclava correspondiente. Todas las estaciones excepto la iniciadora monitorizan todas las peticiones, pero sólo responden las que identifiquen su dirección en el mensaje. El reconocimiento o la respuesta debe llegar en un tiempo predefinido, de no ser así el iniciador repite la petición, si el esclavo no responde tras un número de reintentos se marca como no operativo y en las siguientes peticiones que se le hagan no habrá reintentos.

La comunicación es siempre iniciada por la estación que posee el testigo. El testigo se pasa de estación en estación según el orden numérico ascendente de las direcciones de la estación. La estación con dirección más baja se lo pasa a la de dirección más alta, de esta manera cada estación conoce su predecesora y su sucesora. Estas direcciones han

sido determinadas durante la inicialización y periódicamente se aplica un algoritmo para reconocer los cambios, vease la siguiente figura como un ejemplo gráfico del paso de testigos en una red profibus.

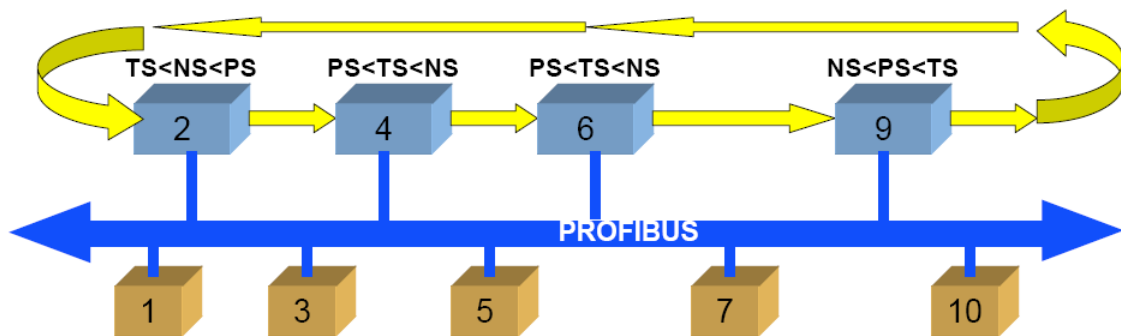


Figura 14. Representación del paso de testigo entre estaciones. Manual de Profibus de Siemens.

Cada estación guarda una lista de estaciones activas, si una maestra recibe el testigo de una estación que no está marcada en su lista, no lo aceptará, si se produce un reintento de la misma, esta estación asumirá que el anillo lógico ha cambiado y marcará la nueva estación en su lista.

8.4.2. Comunicación Profibus DP entre Simatic y Micromaster.

El módulo de comunicaciones PROFIBUS DP sirve para la conexión de convertidores de la serie Micromaster4 a sistemas de automatización de orden superior a través del bus Profibus-DP [6].

Con la conexión de éste módulo se permite, el intercambio cíclico de datos de proceso (PZD) y el acceso acíclico a datos de parametrización (PKW).

Los datos de proceso van desde la palabra de mando, los valores de consigna o informaciones de estado hasta los valores de medida o reales.

Los datos de parametrización sirven para la lectura y escritura de los valores de parámetros, sus propiedades y la lectura de fallos.

La estructura de datos mediante la cuál, el maestro puede acceder a los convertidores esclavos, se designa como PPO (Parameter Process Data Objects). Existen 5 tipos de PPO con dos o seis palabras de datos de proceso pero sin datos de parametrización y dos, seis o diez palabras de datos de proceso con datos de parametrización.

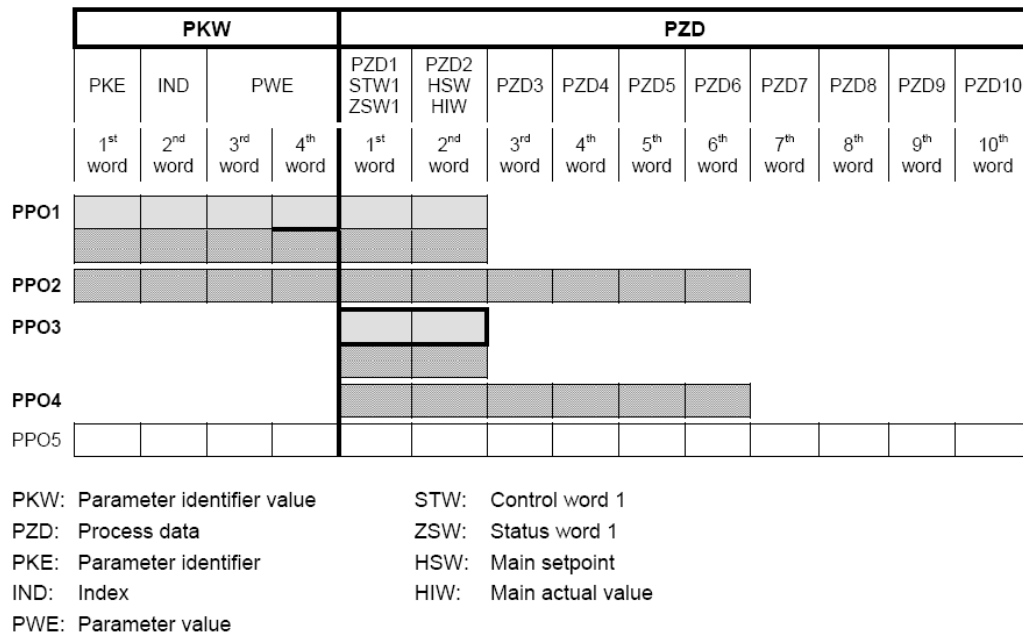


Figura 18. Diagrama con los diferentes tipos de PPO. Manual de Profibus de Siemens.

El tipo de PPO utilizado por el maestro Profibus-DP para acceder al convertidor se configura en el software de Step7 al definir los esclavos. La elección de un PPO u otro dependerá de la tarea a cumplir por el accionamiento.

Los datos de proceso se tratan con máxima prioridad y con los segmentos de tiempo más cortos, sirven para ordenar la puesta en marcha y la parada del equipo, así como para transmitir la consigna de frecuencia de forma remota.

Los datos de parametrización permiten al usuario acceder, a través del bus de campo, a todos los parámetros del convertidor. De forma que es posible leer y modificar remotamente dichos parámetros.

El maestro Profibus-DP transmite al convertidor las informaciones de mando (palabras de mando) y los valores de consigna. En sentido inverso, el convertidor devuelve las informaciones de estado y los valores de medida reales.

8.4.3. Utilización en el proyecto.

La red profibus permitirá la descentralización de los equipos y el control de éstos de forma remota.

9. Configuración de los variadores de frecuencia.

9.1. Configuración para aplicaciones multimotor.

El control del variador de frecuencia Micromaster 440 se realizará mediante el software STARTER.

La problemática principal es la configuración multimotor, ya que con un solo variador se deben controlar varios motores, el Micromaster 440 acepta este tipo de configuración y permite el control de varios motores cumpliendo una serie de requisitos.

1. El modo de control debe ser en tensión frecuencia, los modos de control vectorial no están recomendados.
2. La suma de las corrientes que consuman los motores deben ser menores que la corriente máxima de salida del convertidor.
3. La resistencia de estator debe ponerse como la suma de las resistencias de estator de todos los motores P350.
4. Los parámetros referidos a la corriente del motor P305 y la potencia del motor P307, deben ser el valor total correspondiente a todos los motores.
5. Se recomienda utilizar protecciones diferentes para cada motor, desde la función de protección de temperatura incluida en el propio variador, que deberá acompañarse de un sensor en cada uno de los motores, como en contactores independientes para cada motor.

Otros problemas relacionados con la función multimotor vienen dados por la carga variable de éste. Los variadores de frecuencia no admiten variaciones en su carga muy excesivas, de manera que una desconexión de uno de los motores mientras funciona el variador provocará sobretensiones, el añadir un motor mientras éste está funcionando provoca la correspondiente sobrecarga del variador y sobrecorrientes que pueden llevarlo a desconexión.

Se debe destacar entonces que en la aplicación multimotor de esta instalación se debe plantear una lógica de utilización de los recursos disponibles de manera que se consigan obtener los resultados más óptimos. En primer lugar cada variador de frecuencia debe tener bien definido qué motores va a controlar y cómo. En segundo, lugar cada variador arrancará los motores que va a controlar a la vez. Las variaciones de potencia que se deban al aumento de carga se configurarán antes de arrancar y estarán predeterminadas en los juegos de parámetros.

9.2. Configuración del Variador 1.

9.2.1. Configuración mediante la placa de características del motor.

A partir de la placa de características del motor, se irán configurando los distintos variadores, según la misión que tengan que cumplir.

La información obtenida de la placa de características es la siguiente:

Potencia	Velocidad	Tensión nominal	Frecuencia	Factor de potencia	Corriente nominal
55kW	1000 rpm	400V	50Hz	0,86	97A

Tabla 13. Parámetros de la placa de características del motor (Fuente: ABB [17]).

El variador 1 debe controlar el motor 1. La principal característica de esta configuración es la seguridad, ya que este motor activa la cinta de carga, en la cuál existen operarios trabajando.

De entre todos los parámetros ajustables, se actuará sobre los siguientes, para una primera configuración:

- El ajuste de la frecuencia de la red (p0100) se pondrá en 50Hz, ya que es la frecuencia normal de la red en España, esto se configura poniendo el parámetro a 0.
- Los parámetros de tensión nominal del motor (p0304) y la velocidad nominal (p0311) del motor se toman directamente de la placa de características siendo sus valores de 400V y 1000rpm.
- Por otro lado los valores de la corriente (p0305) y la potencia nominal (p0307) p0100= 0, Funcionamiento para Europa/ Norte América.
- La corriente nominal (p0305) de un motor es de 97A y la potencia (p0307) de 55kW para los dos motores.
- Para la consigna de mando (p0700) y la selección de consigna de frecuencia (p1000) se pondrán en 6, para dar las órdenes vía profibus.
- La frecuencia mínima (p1080), ya que no existe por razones de seguridad un nivel mínimo que se deba mantener se colocará en 0Hz. La frecuencia máxima (p1082), se colocará como un valor de seguridad de 50Hz, de manera que la cinta no sobrepase su velocidad nominal.

El rango de valores de la rampa de aceleración oscila entre 0 y 650 segundos, los ajustes demasiado largos pueden ocasionar fallos del convertidor por sobretemperatura y los ajustes demasiado cortos producen arranques bruscos. En el caso de la cinta 1, que por lo general trabajará a velocidades reducidas buscaremos rampas suaves que permitan alcanzar la velocidad deseada sin cambios bruscos. El ajuste del tiempo de aceleración (p1120) en el arranque, se realiza como una relación proporcional entre la frecuencia colocada en la consigna de mando, que es la frecuencia que se quiere alcanzar y la frecuencia máxima (p1082). La siguiente figura muestra la lógica de rampas de aceleración de una forma gráfica.

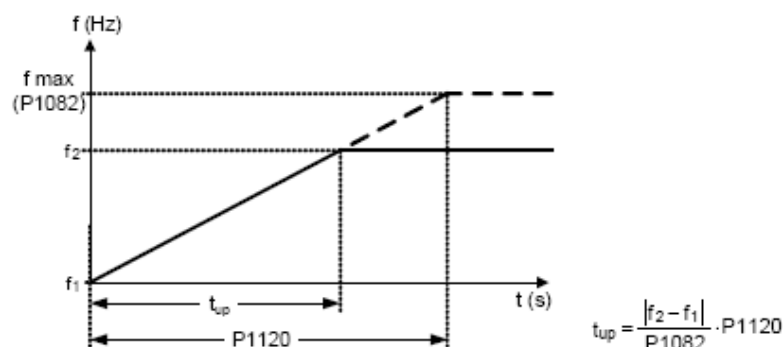


Figura 19. Comportamiento del parámetro p1120 y relación con la frecuencia nominal (Fuente: Siemens [8]).

Para este caso se utilizarán rampas de 30 segundos, de manera que se contemple la posibilidad de un arranque de la instalación en vacío y un arranque de la instalación con cargar, después de una parada de emergencia.

Para conseguir mejoras en el arranque, en este caso introduciremos valores de redondeo p1130 y p1131, de 1 segundo, que nos permitirán mejorar la calidad del arranque del motor para pequeñas variaciones de carga.

En cuanto al tiempo de deceleración (p1121), sólo se debe tener en cuenta una restricción referida a no acortar mucho su valor con respecto a la rampa de aceleración, ya que podría provocar fallos en el convertidor. Por ello se selecciona una rampa de 20 segundos sin redondeos (p1132 y p1133 con valor 0).

Para la configuración del modo de control del variador (p1300), se tiene en cuenta la recomendación del fabricante de usar un control tensión frecuencia lineal.

9.2.2. Configuración Avanzada.

9.2.2.1. Control de la temperatura del motor

El variador Micromaster 440 alberga una protección térmica del motor basada en el modelo térmico, el cual se genera al introducir los valores de la placa característica y realizar el cálculo interno del circuito eléctrico equivalente. Para el cálculo correcto del modelo térmico del motor se configurarán los siguientes parámetros:

1. P0625, temperatura ambiente del motor, que se pondrá de 20° C.
2. P0627, sobret temperatura en el devanado del estator, 100° C.
3. P0628, sobret temperatura del devanado del rotor, 120° C.

La utilización de este modelo térmico se complementa con el uso de un sensor de temperatura tipo KTY84, un termosensor-semiconductor. Este sensor se cablea respetando la polaridad del diodo, el ánodo se conecta al borne 14 y el cátodo al borne 15. La selección de éste se realiza poniendo el parámetro p0601=2.

Si está activado el sensor KTY84, la temperatura del motor se calculará mediante éste. En el caso de detectarse una ruptura del hilo del sensor KTY84, se genera la alarma F0015 (pérdida de la señal de temperatura del motor) y se pasa automáticamente al modelo de motor térmico.

El motor tiene una protección térmica clase B por lo que el límite de temperatura será de 130°C, a esta temperatura el convertidor avisará. Por otro lado para la temperatura de disparo del convertidor se establece un valor de un 10% superior al nivel de aviso. Este ajuste se realiza en el parámetro p0604 y el disparo se configura ajustando el p0610=1.

Extracto de IEC 85	
Clase de aislamiento	Temperatura final
Y	90 °C
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C

Tabla 14. Clase de aislamiento y temperatura (Fuente: Siemens [8]).

9.2.2.2. Configuración de los niveles de tensión de salida.

Los niveles de tensión de salida son sobretensiones que se aplican durante el funcionamiento del motor, y a frecuencias bajas, es necesario aplicarlos para mantener la magnetización del motor asíncrono, mantener la carga o compensar las pérdidas en el sistema.

La elevación continua, p1310, se ajustará a cero, para evitar un calentamiento excesivo del motor. La elevación en el arranque, p1312, se configurará con un valor de un 50%, ya que ayudará a que los motores puedan arrancar a frecuencias bajas. La elevación para aceleración, p1311, se configurará con un valor de un 50%. Esto permitirá la variación de la velocidad a frecuencias bajas como a las que trabajará el variador 1 responsable de la cinta 1.

9.2.2.3. Configuración de re arranques al vuelo y automático.

El ajuste de re arranque al vuelo se utiliza cuando el motor pueda estar todavía girando después de una caída de alimentación breve, o bien, pueda ser arrastrado por la carga. De otro modo ocurrirían fallos por sobreintensidad. En el caso a estudiar no se prevé que inicialmente sea necesario este tipo de re arranque, aunque se podría estudiar su implementación una vez visto el comportamiento de la instalación.

El re arranque automático habilita el re arranque después de un fallo principal o después de fallos tales como cortes de red o apagones. Este parámetro (p1210) se configura a 1, manteniendo la condición de seguridad de re arrancar una vez que se le dé la orden de marcha. De esta manera se asegura que el variador no intente arrancar tras fallos que no sean concretamente apagones o cortes de red y que él interprete como tales, poniendo en peligro a posibles personas de mantenimiento trabajando en las cintas o la instalación.

9.2.2.4. Configuración de frenado.

El frenado a utilizar será un freno combinado (p1236), entre rampa de deceleración y frenado en corriente continua. De este modo es posible frenar con la frecuencia del motor regulada y un retorno energético mínimo. Se configura con un % de la intensidad nominal del motor, en el caso a estudiar se selecciona 20%. De este modo se evita que exista un fallo por sobreintensidad.

9.2.2.5. Vigilancia del par de carga

El parámetro p2181 activa y desactiva la vigilancia del par de carga y determina las respuestas en caso de fallo en el par de carga.

Con la vigilancia del par de carga se pueden detectar fallos mecánicos o sobrecargas del accionamiento, tales como correas rotas o bloqueos en la cinta transportadora, comparando los valores reales de la frecuencia y el par de carga con la curva envolvente programada, con los parámetros del p2182 hasta el p2190. Si el resultado está por debajo o por encima de la envolvente y ha pasado el tiempo de retardo p2192 en función de p2181 se genera una alarma A0952 o una desconexión con el mensaje de fallo F0452. Véase la siguiente figura.

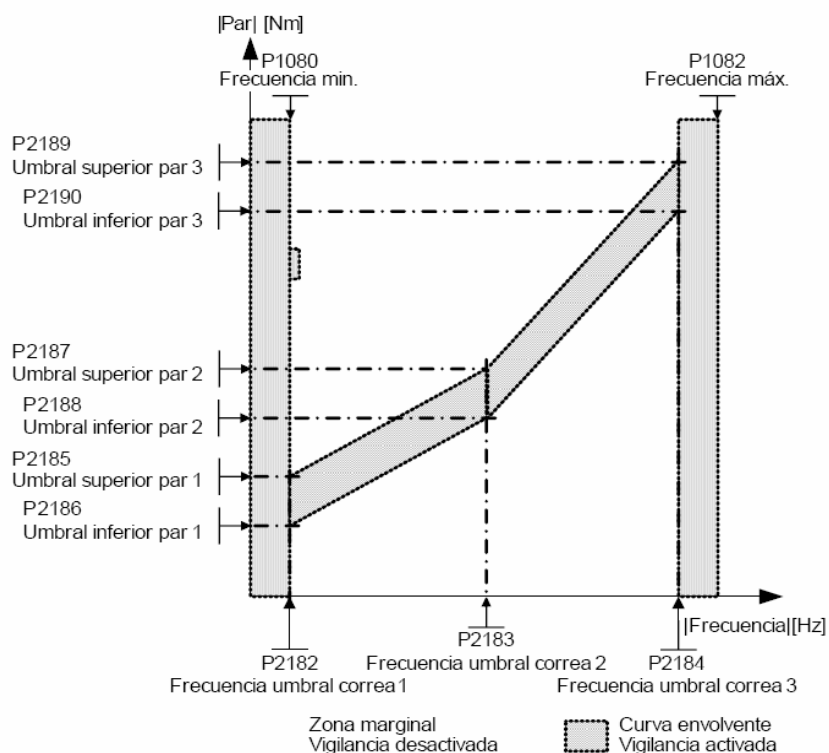


Figura 20. Vigilancia del par de carga, umbrales de vigilancia (Fuente: Siemens [8]).

La vigilancia del par de carga (p2181) se configura a 1, en este dará señal de aviso sin desconexión, cuando exista bajo par y velocidad alta, en el parámetro r2197.

Junto con estos parámetros se definen los límites de las zonas a vigilar,

Parámetros	Frecuencias
P2182	10 Hz
P2183	25 Hz
P2184	45 Hz

Tabla 15. Frecuencias de la curva de la vigilancia del par de carga

Parámetros	Umbral de Par
P2185	200 Nm
P2186	100 Nm
P2187	350 Nm
P2188	250 Nm
P2189	600 Nm
P2190	400 Nm

Tabla 16. Pares de la curva de vigilancia del par de carga

El tiempo de retardo de fallo de correa, p2191, se establece en 10s.

Para el variador 1 la configuración de los parámetros será:

Parámetros	Descripción	Configuración
P0100	Funcionamiento para Europa/ Norte América.	50Hz
P0304	Tensión nominal del motor.	400V
P0305	Corriente nominal del motor.	97A
P0307	Potencia nominal del motor.	55kW
P0310	Frecuencia nominal del motor.	50Hz
P0311	Velocidad nominal del motor.	1000 rpm
P0700	Selección de la fuente de comando.	6 (Profibus)
P1000	Selección de consigna de frecuencia.	6 (Profibus)
P1080	Frecuencia mínima del motor	0Hz
P1082	Frecuencia máxima del motor	50Hz
P1120	Tiempo de aceleración	30s
P1121	Tiempo de deceleración	20s
P1130	Redondeo inicial de rampa de acel.	1s
P1131	Redondeo final de rampa acel.	1s
P1132	Redondeo inicial de decel.	0s
P1133	Redondeo final de rampa de decel.	0s
P1300	Modos de control	V/f
P0604	Temperatura de disparo del motor	10%
P0625	Temperatura ambiente del motor	20° C
P0627	Sobretemp. del devanado del estator	100° C
P0628	Sobretemp. del devanado del rotor	120° C
P1310	Elevación continua.	0%
P1311	Elevación en aceleración.	50%
P1312	Elevación en arranque.	50%
P1210	Rearranque automático	1
P1236	Freno combinado (rampa y CC)	20%
P2181	Vigilancia del par de carga	1
P2182	Frecuencia umbral correa 1	10 Hz
P2183	Frecuencia umbral correa 2	25 Hz

Parámetros	Descripción	Configuración
P2184	Frecuencia umbral correa 3	45 Hz
P2185	Umbral superior para 1	200 Nm
P2186	Umbral inferior para 1	100 Nm
P2187	Umbral superior para 2	350 Nm
P2188	Umbral inferior para 2	250 Nm
P2189	Umbral superior para 3	600 Nm
P2190	Umbral inferior para 3	400Nm
P2191	Tiempo de retardo en fallo de correa	10s

Tabla 17. Parametrización del variador 1.

9.3. Configuración del Variador 2.

A partir de la configuración anterior y siguiendo los mismos criterios, se realiza la configuración del segundo variador que realizará un control sobre los motores 2, 3 y 4.

La tensión de utilización seguirá siendo de 400V a 50Hz y la corriente y potencia nominal serán las correspondientes para poder alimentar los tres motores, siendo por tanto sus valores de 360 A y 225 kW.

La característica principal de esta configuración se basa en la velocidad de trabajo de estas cintas ya que funcionarán a altas velocidades. Las rampas de aceleración/deceleración por tanto deberán de ser más largas, de unos 100s y 80s respectivamente ya que funcionarán a frecuencias cercanas a la nominal y deberán poder arrancar con pares de carga muy altos.

El modo de control, en tensión frecuencia lineal y el modelo térmico, con sensor KTY84, del motor no varían con respecto a la configuración del variador 1.

La configuración de los niveles de tensión se establecerá con la idea de no producir sobretensiones en el arranque ni en los cambios de velocidad. Por ello, y al trabajar a altas frecuencias el nivel de continua se dejará en 0%, el nivel de arranque en 25% y el de aceleración en un 25%. De esta manera sólo actuarán, o bien, cuando el variador realice maniobras, o bien, en un nivel bajo y de apoyo.

La configuración de re arranque al vuelo no se utilizará por seguridad, y la de re arranque automático se parametrizará para que se active siempre y cuando no se advierta ninguna señal de alarma o fallo y mediante el accionamiento de un operario.

El frenado se realizará sólo mediante rampa. No se introducirá corriente continua en ningún caso ya que al trabajar a corrientes elevadas se evitará el sobrecalentamiento del motor en la frenada.

La configuración de la vigilancia del par de carga no será configurada, ya que en la aplicación multimotor el variador no será capaz de distinguir cual de los motores está teniendo el problema, por lo que en caso de rotura de correa u obstrucción de la cinta, tendrá que ser detectado el fallo de forma externa.

Para el variador 2 que controla los motores 2, 3 y 4 la configuración de los parámetros será:

Parámetros	Descripción	Configuración
P0100	Funcionamiento para Europa/ Norte América.	50Hz
P0304	Tensión nominal del motor.	400V
P0305	Corriente nominal del motor.	360A
P0307	Potencia nominal del motor.	225kW
P0310	Frecuencia nominal del motor.	50Hz
P0311	Velocidad nominal del motor.	1000 rpm
P0700	Selección de la fuente de comando.	6 (Profibus)
P1000	Selección de consigna de frecuencia.	6 (Profibus)
P1080	Frecuencia mínima del motor	0Hz
P1082	Frecuencia máxima del motor	50Hz
P1120	Tiempo de aceleración	100s
P1121	Tiempo de deceleración	80s
P1130	Redondeo inicial de rampa de acel.	1s
P1131	Redondeo final de rampa acel.	1s
P1132	Redondeo inicial de decel.	1s
P1133	Redondeo final de rampa de decel.	1s
P0604	Temperatura de disparo	10%
P0625	Temperatura ambiente del motor	20° C
P0627	Sobretemp. del devanado del estator	100° C
P0628	Sobretemp. del devanado del rotor	120° C
P1310	Elevación continua.	0%
P1311	Elevación en aceleración.	25%
P1312	Elevación en arranque.	25%
P1210	Rearranque automático	1
P2181	Vigilancia del par de carga	0

Tabla 18. Parametrización del variador 2.

9.4. Configuración del Variador 3.

El variador de frecuencia controla el motor correspondiente a la cinta transportadora número 5. El comportamiento en este caso es idéntico al analizado en el variador 1, por lo que su parametrización no presentará variaciones con respecto a la realizada anteriormente.

Por lo tanto, la configuración de los parámetros será:

Parámetros	Descripción	Configuración
P0100	Funcionamiento para Europa/ Norte América.	50Hz
P0304	Tensión nominal del motor.	400V
P0305	Corriente nominal del motor.	97A
P0307	Potencia nominal del motor.	55kW
P0310	Frecuencia nominal del motor.	50Hz
P0311	Velocidad nominal del motor.	1000 rpm
P0700	Selección de la fuente de comando.	6 (Profibus)
P1000	Selección de consigna de frecuencia.	6 (Profibus)
P1080	Frecuencia mínima del motor	0Hz
P1082	Frecuencia máxima del motor	50Hz

Parámetros	Descripción	Configuración
P1120	Tiempo de aceleración	30s
P1121	Tiempo de deceleración	20s
P1130	Redondeo inicial de rampa de acel.	1s
P1131	Redondeo final de rampa acel.	1s
P1132	Redondeo inicial de decel.	0s
P1133	Redondeo final de rampa de decel.	0s
P1300	Modos de control	V/f
P0604	Temperatura de disparo del motor	10%
P0625	Temperatura ambiente del motor	20° C
P0627	Sobretemp. del devanado del estator	100° C
P0628	Sobretemp. del devanado del rotor	120° C
P1310	Elevación continua.	0%
P1311	Elevación en aceleración.	50%
P1312	Elevación en arranque.	50%
P1210	Rearranque automático	1
P1236	Freno combinado (rampa y CC)	20%
P2181	Vigilancia del par de carga	1
P2182	Frecuencia umbral correa 1	10 Hz
P2183	Frecuencia umbral correa 2	25 Hz
P2184	Frecuencia umbral correa 3	45 Hz
P2185	Umbral superior para 1	200 Nm
P2186	Umbral inferior para 1	100 Nm
P2187	Umbral superior para 2	350 Nm
P2188	Umbral inferior para 2	250 Nm
P2189	Umbral superior para 3	600 Nm
P2190	Umbral inferior para 3	400Nm
P2191	Tiempo de retardo en fallo de correa	10s

Tabla 19. Parametrización del variador 3.

9.5. Comunicaciones Profibus.

Las comunicaciones Profibus entre el Simatic y el Micromaster requieren una parametrización determinada, que será igual para todos los equipos de la instalación.

El ajuste de mando p0700 y el ajuste de consigna p1000 ya han sido reflejados en la configuración normal de los variadores.

La dirección del módulo de profibus de cada esclavo se configura en el parámetro p0918, aunque siempre prevalece la dirección colocada en el hardware.

Número de variador	Dirección en Profibus-DP
V1	4
V2	5
V3	6

Tabla 20. Direcciones de los variadores dentro de la red Profibus DP.

El ajuste de los parámetros se realiza vía local, mediante las parametrizaciones anteriormente comentadas, por lo que el parámetro p0927 se ajusta a 0.

La velocidad de transmisión de Profibus-DP se ajusta en el parámetro p0963, para colocar este valor se tendrán en cuenta una sección de cable de 0,22 mm² y una distancia total de la red de 300 metros, por lo que el ajuste de velocidad se colocará en 4, 93,75 Kbaud.

En el parámetro 2051, se realiza el ajuste de los PZD, colocando los parámetros que se van a solicitar durante la comunicación cíclica con el variador. Las dos primeras palabras están reservadas para el mando y la frecuencia, en las siguientes son seleccionadas la tensión de salida del convertidor, el parámetro de lectura r72 y la corriente de salida del convertidor, el parámetro de lectura r27.

Lista de experto				
Parámetro	+	+	Texto del parámetro	Valor MICROMASTER_440
r2050[0]	+		CO: PZD from CB, Received word 0	0
p2051[0]	-		Ci: PZD to CB, Transmitted word 0	r72
p2051[1]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 1	r27
p2051[2]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 2	0
p2051[3]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 3	0
p2051[4]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 4	0
p2051[5]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 5	0
p2051[6]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 6	0
p2051[7]			Ci: PZD to CB, Transmitted word 7	0

Tabla 21. Lista de valores a transmitir en comunicación cíclica entre el Simatic y el Micromaster440.

Las demás palabras se dejan desactivadas pero con opción a configurarse posteriormente.

10.Programación del PLC Simatic.

10.1. Configuración del Hardware.

La configuración hardware muestra el conjunto de equipos necesarios para realizar el control de la instalación.

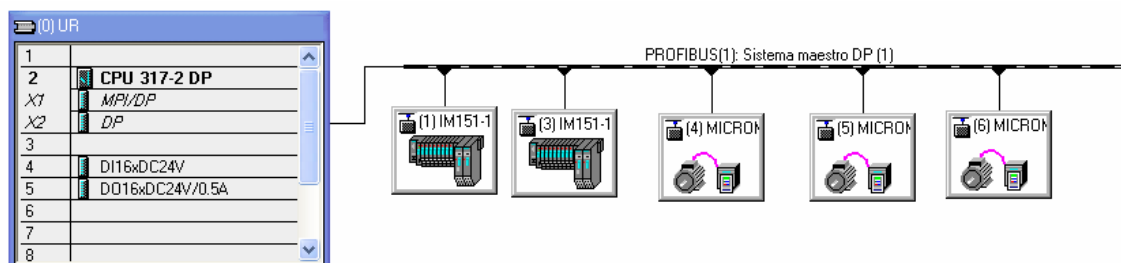


Figura 21. Detalle de los equipos de la red profibus.

La CPU de la instalación será la 317-DP, esta actuará como maestro de la red profibus. La conexión con el PC de programación se realizará mediante un cable de conexión al puerto MPI, este equipo también posee acceso para tarjeta de memoria programable.

Para el control de los esclavos, este modelo cuenta con un módulo de conexión propio de profibus, módulo DP. A este equipo, se le añadirá un módulo de entradas tipo DI16xDC24V, 16 entradas digitales de 24V y un módulo de salidas tipo DO16xDC24V, 16 salidas digitales de 24 V. La fuente alimentación del conjunto será una SITOP de 220VAC/24VDC.

El resto de los equipos se instalarán de forma descentralizada y la conexión entre ellos se realizará mediante la creación de una red de profibus.

De esta manera se instalaran dos ET 200S, con denominación IM151-1 Standard, con módulo de profibus incorporado. La alimentación de cada una se realizará mediante SITOP 220VAC/24VDC. Estos periféricos contarán cada uno con una tarjeta de 16 entradas digitales y una de 16 salidas digitales, iguales que las especificadas anteriormente.

El resto de los elementos de la red profibus lo conforman los tres variadores de frecuencia Micromaster 440, con los que cuenta la instalación.

Los elementos se organizarán en tres armarios independientes, uno colocado junto a cada variador de frecuencia. De manera que el primer armario contara con el SIMATIC 300 y el variador 1 y cada uno de los siguientes con una de las ET200S y un variador.

Para el accionamiento de los contactores de mando se utilizarán unos relés intermedios que alimentados a 24V DC por las salidas del PLC, den salidas de 230V AC para alimentar los mecanismos de cierre de los contactores.

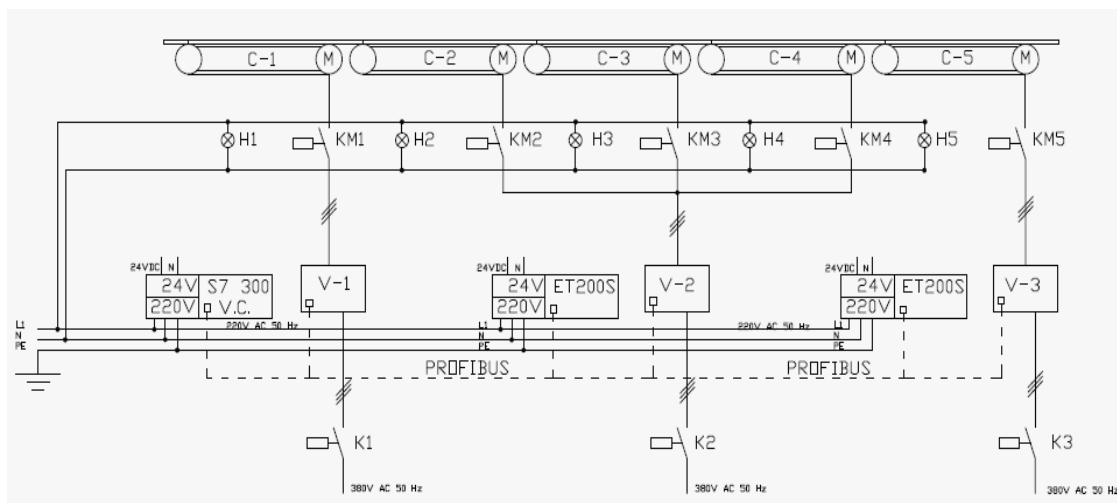


Figura 22. Detalle de la instalación, alimentación eléctrica de los equipos y red profibus.

10.2. Control de la instalación.

El programa de control de la instalación parte de la necesidad de controlar los diferentes motores que moverán las cintas transportadoras de mercancía.

La lógica de control, se inicia con la puesta en marcha de la instalación mediante el interruptor principal I1. Esto acciona la entrada de los contactores K1, K2 y K3 que alimentan los variadores de frecuencia. La alimentación de los variadores permite su programación y configuración manteniendo la salida de estos abierta, hasta la conexión de los contactores de KM que activan la salida hacia los motores.

La conexión de las salidas de los variadores de frecuencia hacia los motores se produce mediante la pulsación de los interruptores V1, V2 y V3. Cada uno de ellos conecta las salidas de su correspondiente variador, de esta forma V1 cierra el KM1, V2 los KM2, KM3 y KM4 y V3 el KM5.

La correcta conexión de los contactores de motor, se confirma mediante la entrada de señales de aviso, que se activan cuando se produce la conexión física del contactor, retroavisos. Se contará por tanto con un retroaviso por cada contactor de motor, (RM1, RM2, RM3, RM4, RM5) con el objetivo de poder observar anomalías en los contactores que pudieran provocar una mala conexión entre sus terminales. Los retroavisos se componen de sondas de tensión, cuyos terminales se conectan a los bornes de los contactores. La salida de la sonda de tensión se conecta a un relé, con una configuración normalmente cerrada. De esta manera mientras los contactores permanecen abiertos, existe diferencia de tensión entre sus bornes, la sonda detecta esta diferencia de tensión y mantiene el relé abierto. Cuando se cierra el contactor, la sonda de tensión deja de detectar diferencia de tensión y cierra el circuito del relé.

La activación del motor 1 se produce, cuando el sensor 1 comienza a detectar carga. Además, se ha de confirmar mediante programación la correcta conexión de los contactores y de los interruptores de alarma. Estos sucesos se consideran el punto de partida para el envío al variador 1 de la consigna de frecuencia, previamente introducida, mediante comunicación profibus.

Cuando el sensor 2, detecta la presencia de mercancía, se activa el variador 2, y con él los motores 2, 3 y 4. Los sensores 3 y 4 mandarían señales al PLC cuando detecten el paso de la carga por sus respectivas cintas.

Por último, será el sensor 5 el que de la orden de encendido del variador 3 y del motor de la cinta 5, de igual manera que en los casos anteriores. El sensor 6, indicará la salida de carga desde la cinta 5 a la zona de descarga.

El paso correcto por las cintas transportadoras, se supervisa mediante el disparo de un temporizador. Este sistema de supervisión permite detectar la entrada de carga en una cinta mediante el disparo de un sensor y la salida mediante el disparo del sensor contiguo, si no produjese el disparo del sensor contiguo en un tiempo de 5 minutos, se dará una señal de alarma visible desde el punto de control de la instalación.

De esta manera la programación es capaz de detectar posibles fallos en la instalación como: obstrucciones en las cintas, caída de carga por los laterales de las cintas u otros problemas que impidan el transporte normal de la carga.

Junto a cada cinta transportadora se encuentra un pulsador de emergencia con enclavamiento, (PEM1, PEM2, PEM3, PEM4, PEM5) y un pulsador de emergencia más, colocado en el centro de control, PEM0. Todos los pulsadores de emergencia son de tipo normalmente cerrado para evitar su desactivación en caso de rotura de cable. La pulsación de cualquiera de ellos en cualquier momento detendrá el proceso normal de la instalación desconectando los motores de los variadores que los alimentan.

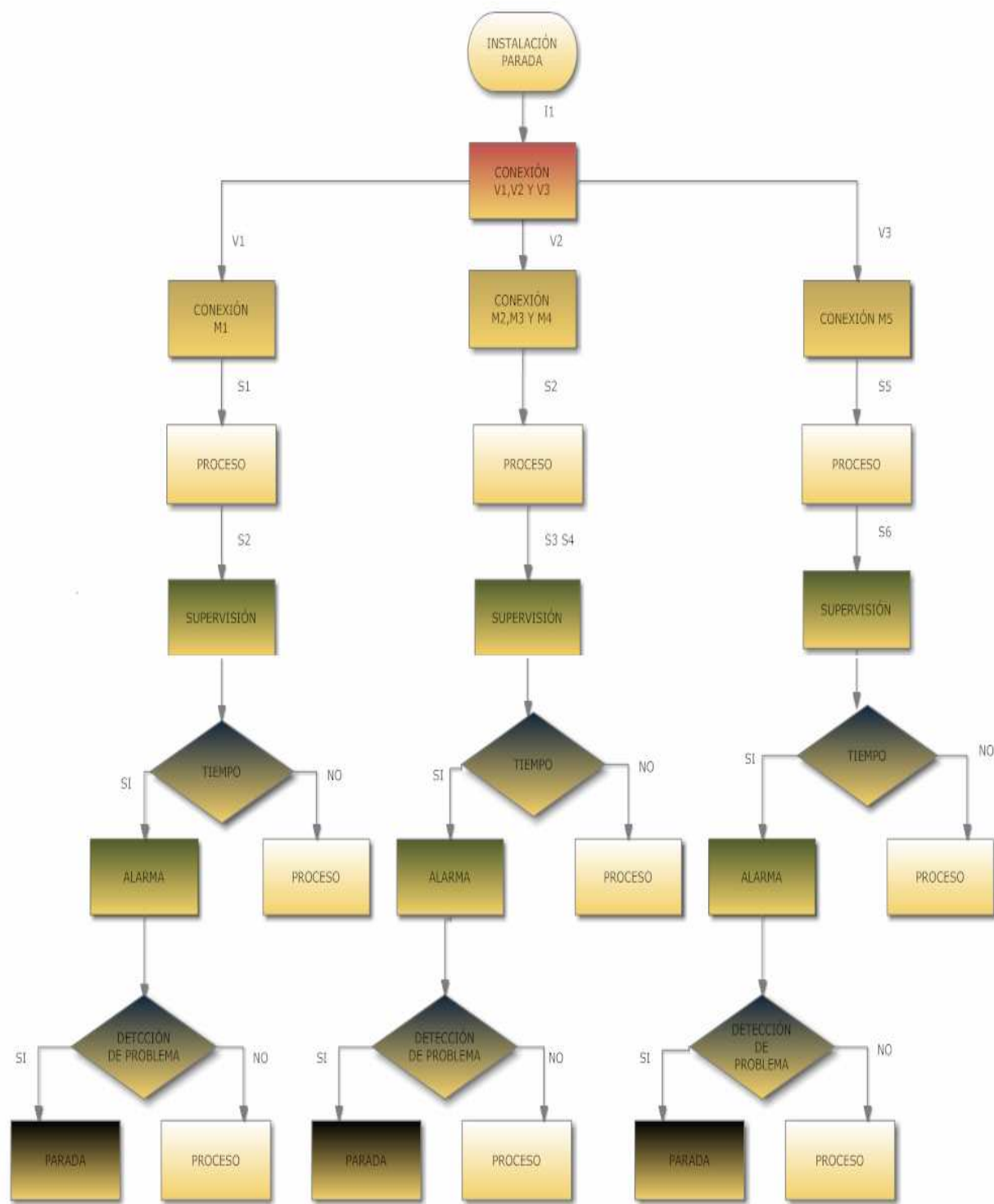


Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de la instalación.

10.3. Lista de entradas, salidas, temporizadores y memorias del programa.

El equipo principal y maestro de la red profibus cuenta con una tarjeta de 16 entradas digitales y una de 16 salidas digitales, que se utilizarán para el control de los equipos.

	ENTRADAS		
	<i>Nombre</i>	<i>Dirección</i>	<i>Descripción</i>
PLC SIMATIC S7 300	I1	E0.0	Interruptor 1
	PEM0	E0.1	Pulsador de Emergencia 0
	PEM1	E0.2	Pulsador de Emergencia 1
	S1	E0.3	Sensor 1
	V1	E0.4	Variador 1
	V2	E0.5	Variador 2
	V3	E0.6	Variador 3
	RM1	E0.7	Retroaviso contactor motor 1

Tabla 22. Lista de entradas del PLC SIMATIC S7 300.

	SALIDAS		
	<i>Nombre</i>	<i>Dirección</i>	<i>Descripción</i>
PLC SIMATIC S7 300	K1	A0.0	Contactador de Variador 1
	KM1	A0.1	Contactador de Motor 1
	H1	A0.2	Señalización 1
	AL1	A0.3	Alarma 1
	AL2	A0.4	Alarma 2
	AL3	A0.5	Alarma 3
	AL4	A0.6	Alarma 4
	AL5	A0.7	Alarma 5

Tabla 23. Lista de salidas del PLC SIMATIC S7 300.

El periférico denominado ET200S1, situado en el cuadro de mando que lleva su mismo nombre tiene la siguiente relación de entradas y salidas.

	ENTRADAS		
	<i>Nombre</i>	<i>Dirección</i>	<i>Descripción</i>
ET200S 1	PEM2	E2.0	Pulsador de Emergencia 2
	PEM3	E2.1	Pulsador de Emergencia 3
	PEM4	E2.2	Pulsador de Emergencia 4
	S2	E2.3	Sensor 2
	S3	E2.4	Sensor 3
	S4	E2.5	Sensor 4
	RM2	E2.6	Retroaviso contactor motor 2
	RM3	E2.7	Retroaviso contactor motor 3
	RM4	E3.0	Retroaviso contactor motor 4

Tabla 24. Lista de entradas del equipo periférico ET200S-1.

	SALIDAS		
	<i>Nombre</i>	<i>Dirección</i>	<i>Descripción</i>
ET200S 1	K2	A2.0	Contactor de Variador 2
	KM2	A2.1	Contactor de Motor 2
	KM3	A2.2	Contactor de Motor 3
	KM4	A2.3	Contactor de Motor 4
	H2	A2.4	Señalización 2
	H3	A2.5	Señalización 3
	H4	A2.6	Señalización 4

Tabla 25. Lista de salidas del equipo periférico ET200S-1.

El periférico denominado ET200S1, situado en el cuadro de mando que lleva su mismo nombre tiene la siguiente relación de entradas y salidas.

	ENTRADAS		
	<i>Nombre</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
ET200S 2	PEM5	E4.0	Pulsador de Emergencia 5
	S5	E4.1	Sensor 5
	S6	E4.2	Sensor 6
	RM5	E4.3	Retroaviso 5

Tabla 26. Lista de entradas del equipo periférico ET200S-2.

	SALIDAS		
	<i>Nombre</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
ET200S 2	K3	A4.0	Contactor de Variador 3
	KM5	A4.1	Contactor de Motor 5
	H5	A4.2	Señalización de 5

Tabla 27. Lista de salidas del equipo periférico ET200S-2.

Lista de temporizadores utilizados en la programación, para el control del tránsito correcto de la carga y sus valores de tiempo.

	<i>Nombre</i>	<i>Valores</i>
TEMPORIZADORES	T1	300s
	T2	300s
	T3	300s
	T4	300s
	T5	300s

Tabla 28. Lista de temporizadores utilizados en la programación.

A continuación se muestran las marcas de memoria más importantes utilizadas y su relación en la programación.

MARCAS DE MEMORIA

<i>Nombre</i>	<i>Valores</i>
Contactores de V1 ok	M0.1
Contactores de V2 ok	M0.2
Contactores de V3 ok	M0.3
Instalación encendida	M1.0
Variador 1 arrancado	M1.1
Variador 2 arrancado	M1.2
Variador 3 arrancado	M1.3
Variadores alimentados	M2.0

Tabla 29. Lista de marcas de memoria utilizadas en la programación.

10.4. Desarrollo de la programación

La programación de la instalación se realiza sobre el programa STEP 7 de Siemens, utilizando los lenguajes de programación de AWL y KOP, que se corresponderían a lenguaje de texto estructurado y lenguaje de diagrama de bloques. En general se utiliza el lenguaje de diagramas de bloques por su sencillez y para ciertas operaciones lógicas se ha optado por el lenguaje de texto estructurado.

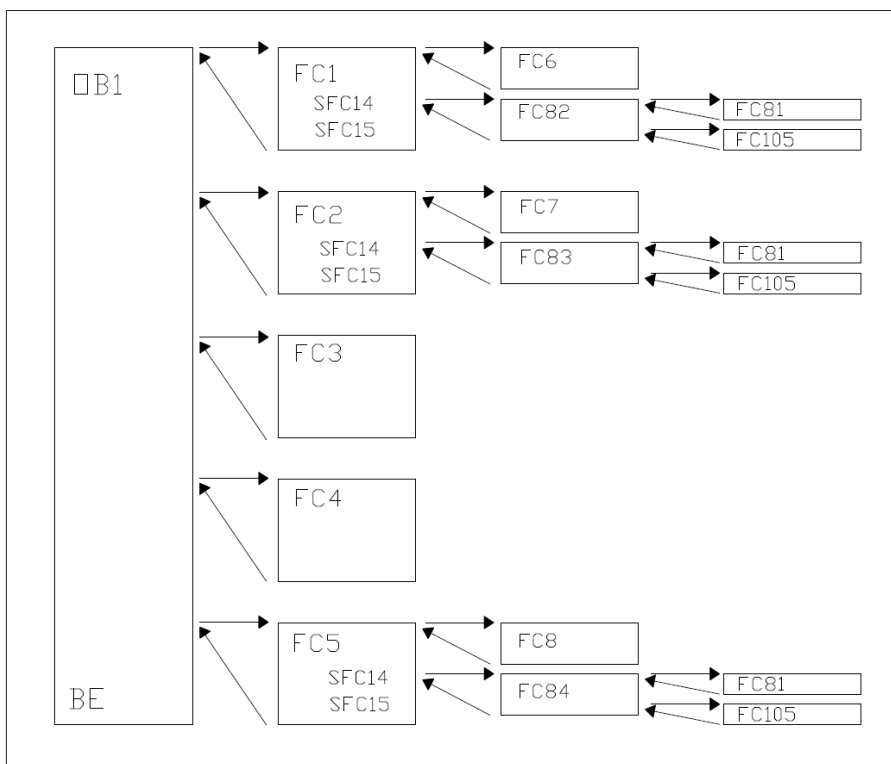


Figura 24. Estructura del programa.

Las emergencias y el interruptor principal de la instalación, se aúnan en la marca de memoria M1.0, que se activa cuando todas las emergencias y el interruptor principal se encuentran a 1. Esta marca será la que se consulte y la que permita encender y apagar la instalación, como se observa en la siguiente figura.

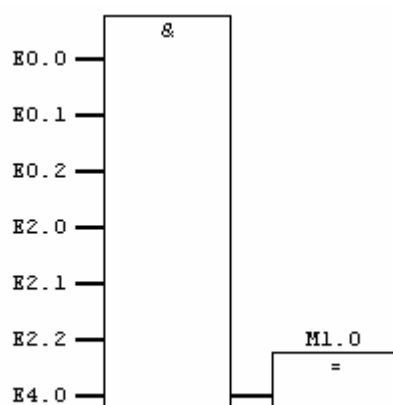


Figura 25. Detalle de la programación 1.

La conexión de los variadores, está, por tanto, ligada al estado de esta marca, no tanto su desconexión, ya que en caso de problemas en el propio variador sería necesario revisarlo antes de desconectarlo por lo que, la activación de los interruptores K1, K2 y K3 de la instalación se realiza mediante una función lógica de SET y RESET, con predominio del reset, donde la activación se produce por la marca M1.0 y la desactivación por el apagado de la instalación mediante el interruptor principal I1, que se corresponde con la entrada E0.0., tal y como se observa en la figura 26.

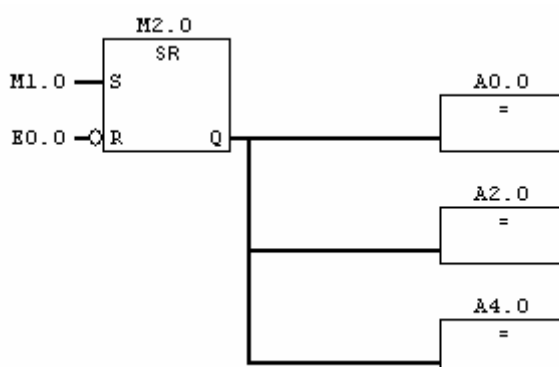


Figura 26. Detalle de la programación 2.

De nuevo la conexión de los contactores que conectan los variadores con los motores estará ligada a la marca M1.0, adicionalmente estos contactores tienen dos condiciones adicionales para su correcta conexión, la primera será la pulsación de los botones de mando V y la segunda la entrada de retroaviso RM para cada contactor, vease la siguiente figura.

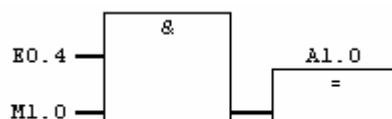


Figura 27. Detalle de la programación 3.

La correcta conexión de los contactores se guarda en las marcas M0.1, M0.2 y M0.3, correspondiéndose cada una con las salidas de los variadores V1, V2 y V3, para el caso del variador de frecuencia 1, véase la siguiente figura.

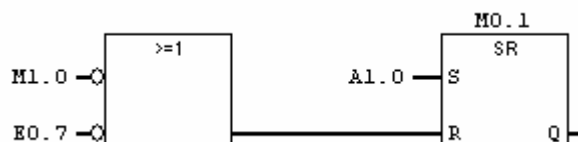


Figura 28. Detalle de la programación 4.

En este momento la instalación se encuentra lista para empezar a funcionar con todos los equipos conectados y los variadores alimentados. En este punto la programación se divide en 5 funciones distintas e independientes correspondientes a las 5 cintas transportadoras a controlar (FC1, FC2, FC3, FC4 y FC5).

Cada subprograma ataca el arranque y el funcionamiento de la cinta que controla, la excepción se encuentra en los subprogramas de las cintas 3 y 4 (FC3 y FC4) que al estar ligadas al arranque y parada de la cinta 2, sólo contarán con un código de supervisión de la instalación mediante temporizador.

El arranque de la cinta viene ligado a la detección por uno de los sensores de la entrada o salida de carga de la cinta. Además, las marcas M1.0 y las marcas M0.1, M0.2 y M0.3, deben estar activadas como medida de seguridad. Las órdenes de arranque de las cintas se realizan mediante un set de las marcas M1.1, M1.2 y M1.3, que serán la condición necesaria para el envío de la frecuencia vía profibus a los variadores. En la siguiente figura se puede observar un extracto de la programación de la orden de arranque del variador 1.

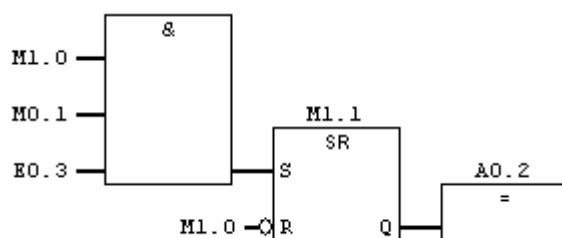


Figura 29. Detalle de la programación 5.

Como resultado de la activación de las marcas M1.1, M1.2 y M1.3, se activan las salidas de señalización de funcionamiento de las cintas H1, H2, H3, H4 y H5.

Por otro lado se realiza la supervisión del correcto transporte de la carga mediante temporizadores, como puede observarse en la siguiente figura.

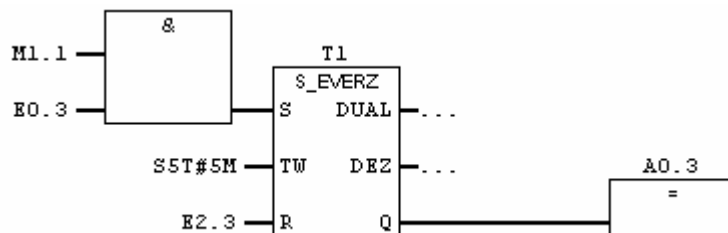


Figura 30. Detalle de la programación 6.

Cada temporizador se activa, con la detección de presencia de carga, por parte de un sensor, de manera que contabiliza el tiempo que tarda en llegar la carga desde este punto al sensor siguiente, donde el temporizador es reseteado, si esto no se produjese durante un tiempo estimado de cinco minutos, la instalación activará una alarma visible en el punto de control (AL). En ese caso deberá ser el técnico supervisor el que valore la necesidad de apagar o no la instalación. En la figura queda representado el sistema de supervisión mediante temporizador y como se realiza la detección del paso continuo de carga.

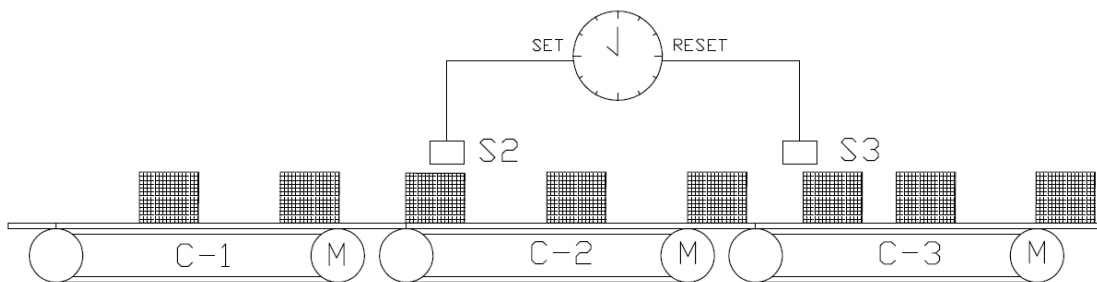


Figura 31. Detalle de la lógica de control del paso correcto de la carga.

10.5. Comunicación PROFIBUS.

La red profibus se encarga de conectar los diferentes equipos y permite el control de todos ellos por el PLC maestro de la instalación, el SIMATIC 317.

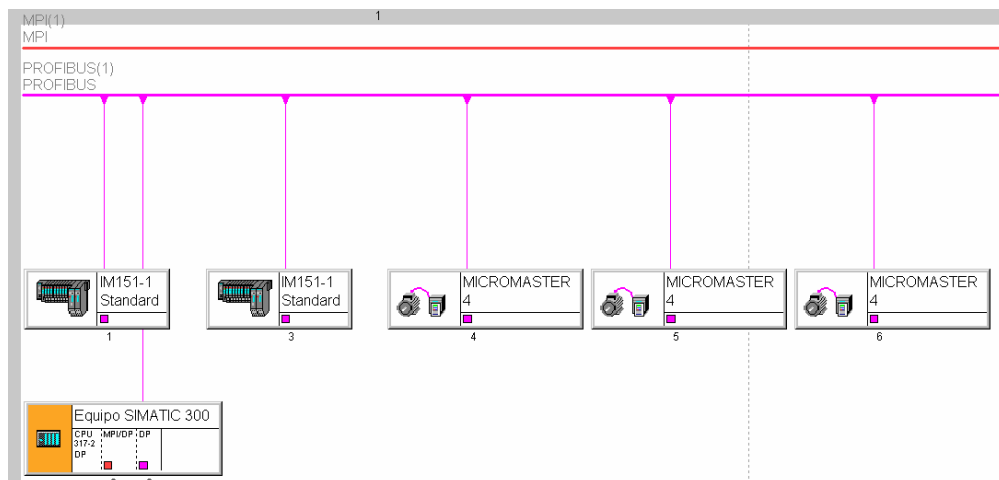


Figura 32. Detalle de la red PROFIBUS.

Cada elemento de la instalación tiene asignada una dirección, esta dirección se puede asignar por software y también por hardware, aunque siempre prevalece la colocada de forma manual sobre el equipo (hardware).

El control de las salidas de las ET200S, se realiza al asignar los valores de las tarjetas de entradas y salidas de estos periféricos. Una vez creada la red profibus y estando todos los equipos correctamente conectados y con sus direcciones perfectamente definidas, el maestro es capaz de activar y desactivar cada una de las tarjetas de los esclavos, llamando mediante programación a la entrada o salida con el nombre de esta, de igual manera que si estuvieran conectadas en el mismo bastidor.

El control de los variadores, por otro lado, necesita de una programación específica, ya que se deben intercambiar mensajes entre el Simatic y el Micromaster.

La condición necesaria para establecer la comunicación con los variadores es la activación de las marcas, M1.1, M1.2, M1.3, que indican que la instalación va ser arrancada.

Para el caso del variador 1, cumplida la condición de M1.1 activada, el programa carga el valor de la frecuencia de mando, frecuencia que se desea enviar al variador, en la DB1 y lo transfiere a la DB4. La DB4 es la que se encargará del envío y recepción de datos con el Micromaster 440. Este proceso se repite para los demás variadores.

El programa, una vez copiado este registro, llama a las FC6, FC7 y FC8, que son las funciones de comunicaciones respectivas para cada variador, en ellas se generan las palabras de mando a enviar. Para crear el mensaje de mando se toma la frecuencia de mando, y se realizan comparaciones. En primer lugar se determina si es igual o distinta de 0, orden de parada o marcha, como se observa en la figura siguiente.

```
L    DB1.DBW    0
L    0
==I
L    W#16#47E
T    "DB profibus".Mando
SPA  FIN
```

Figura 33. Detalle de la programación, envío de mensaje de parada al variador.

En segundo lugar el signo de la frecuencia nos determinará el sentido de la marcha, si es mayor o menor que 0, véanse los dos casos representados en la siguiente figura.

L DB1.DBW 0	L DB1.DBW 0
L 0	L 0
>I	<I
L W#16#47F	L W#16#477F
T "DB profibus".Mando	T "DB profibus".Mando
SPA FIN	SPA FIN

Figura 34. Detalle de la programación, envío de mensajes de marcha y sentido de giro al variador.

El resultado de las comparaciones dará un número en hexadecimal con la orden de arrancar y el sentido de la marcha, siendo los números a utilizar:

- 1) Orden de parada: 47E
- 2) Marcha en sentido positivo: 47F
- 3) Marcha en sentido negativo: 477F

Las órdenes de mando se almacenan junto con las frecuencias en las DB4, DB5 y DB6, y serán estos los parámetros que se enviarán a los diferentes variadores.

Desde los variadores se recibirán como respuesta los valores de la frecuencia, la corriente de salida y la tensión de salida.

Para la construcción de los mensajes de entrada y salida, se utilizan las funciones programadas de STEP 7, para este tipo de comunicación, que son la SFC14 y SFC15.

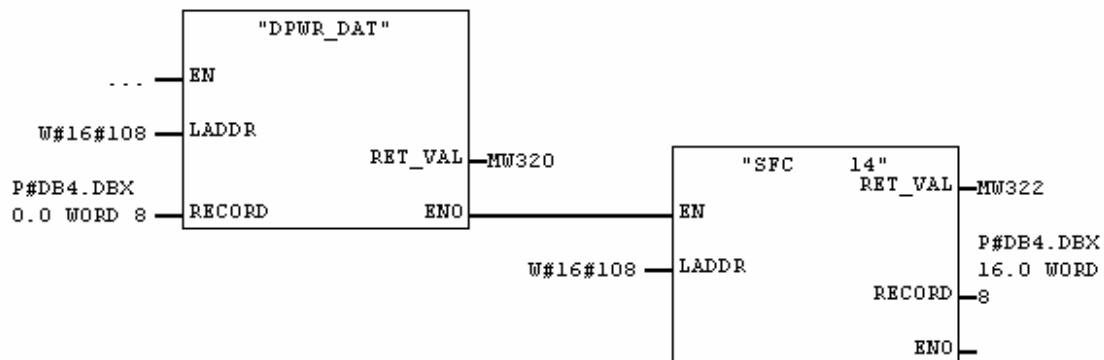


Figura 35. Detalle de programación, utilización de las SFC14 y SFC15.

La función SFC15 se encarga del envío de datos al variador, para ello toma los valores contenidos en las 8 primeras palabras de la DB4 y los envía a la dirección que aparece en LADDR, que es la dirección de comunicaciones del esclavo, representada en hexadecimal. Si existiese algún error durante el proceso de comunicaciones, este se representaría en la marca colocada en RET_VAL.

La SFC14 se encarga de la recepción de los mensajes, de igual manera que antes se colocaría en LADDR la dirección del esclavo y si ocurriese algún error aparecería en la marca colocada en RET_VAL. Los valores recibidos son guardados en la DB4 consecutivamente a los de enviados para no sobrescribirlos.

Por último los datos recibidos en la DB4 se cargan en la DB1. Por tanto la DB1 será la consultada para observar los valores reales de frecuencia, intensidad y tensión y se utilizará además para variar la frecuencia del Micromaster440.

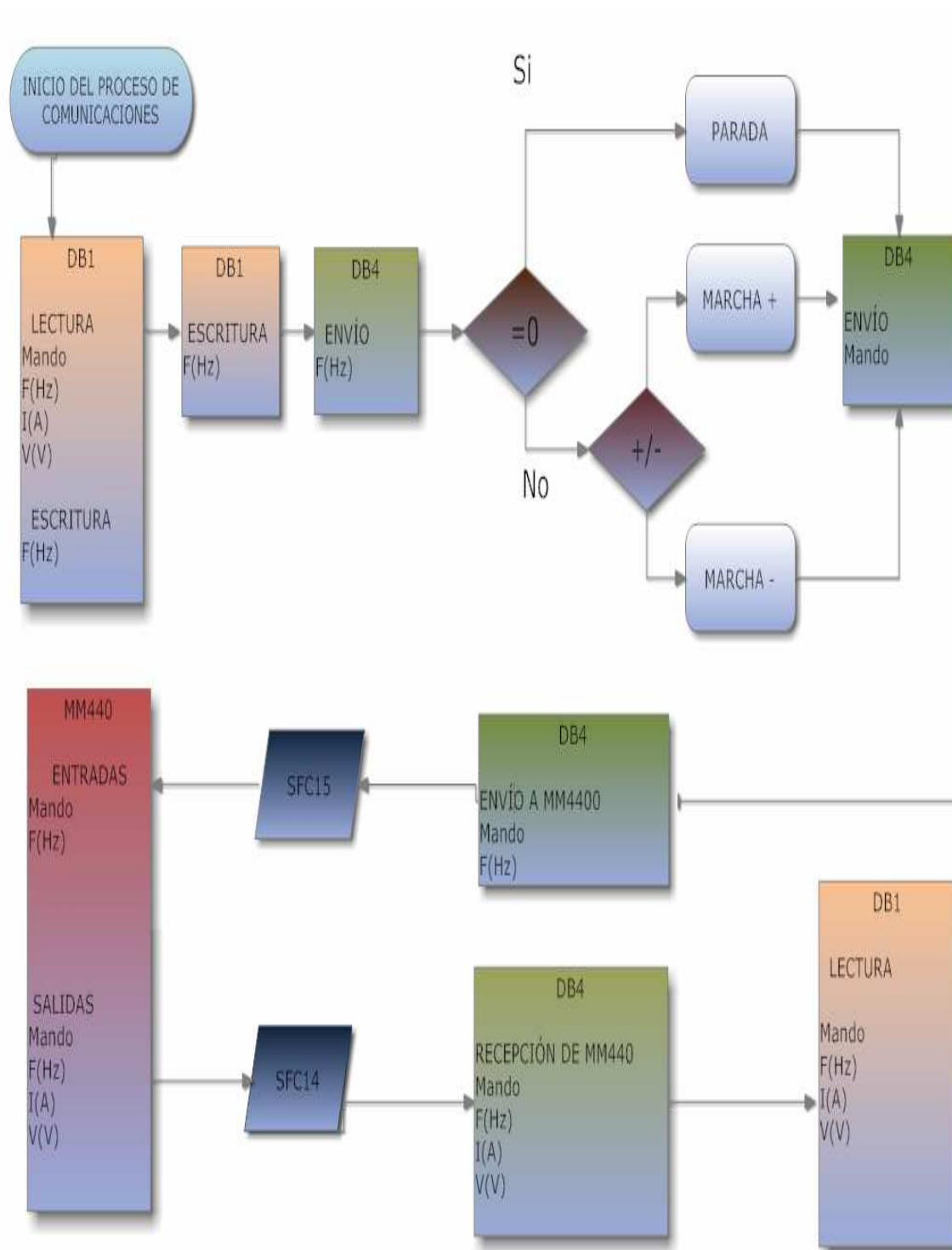


Figura 36. Estructura de la comunicación vía profibus.

11. Programa de supervisión de la instalación con Labview.

11.1. Objetivos del sistema.

El objetivo del programa

El objetivo del programa de supervisión de la instalación es poder observar el comportamiento de esta desde un punto de vista eléctrico, pudiendo corregir las posibles anomalías y mejorar la explotación de la instalación.

11.2. Implementación del sistema.

Para la correcta utilización del programa se han realizado una serie de consideraciones a tener en cuenta. La carga siempre circula desde la zona de carga a la zona de descarga y los motores, por tanto, funcionan siempre girando en este sentido, considerado este como positivo, por lo tanto el programa se ha desarrollado para circuitos trifásicos equilibrados con carácter inductivo en secuencia directa.

En primer lugar se procederá a la colocación de las sondas de corriente y tensión. Se consideran como puntos más significativos de visualización, las salidas de los variadores, ya que actúan como las fuentes de alimentación de los diferentes circuitos.

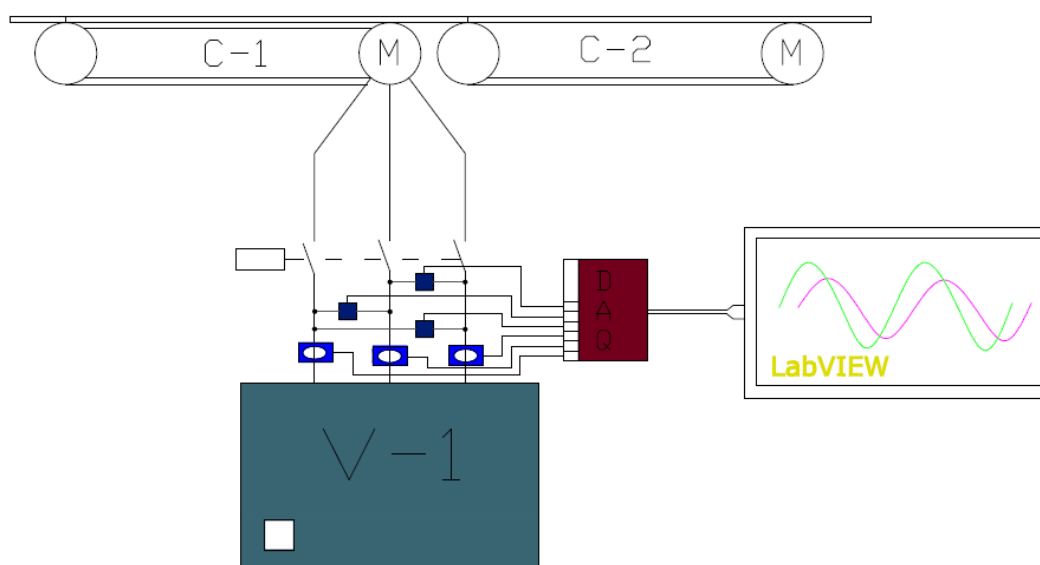


Figura 37. Instalación de los transductores a la salida del variador y conexión de la DAQ al PC.

El programa ha sido diseñado para adquirir las señales provenientes de tres transductores de tensión y tres de corriente, las medidas realizadas deben ser en ambos casos de línea para que el software pueda procesar bien los datos y realizar correctamente los cálculos.

Se debe tener en cuenta la correcta colocación de las salidas de los transductores en las entradas de la tarjeta de adquisición de datos haciendo coincidir los diferentes canales físicos de la tarjeta con los canales del software.

La tarjeta utilizada será la USB PCI 6011, la cual cuenta con un total de 16 canales analógicos de entrada y 8 canales digitales de entrada/salida.

Los transductores de corriente utilizados serán los LEM DHR 1000 C-10, capaces de leer corrientes de hasta 1000 A y LEM HTA 500S de 500 A, con salidas de 0 a 10V y por lo tanto no será necesaria la colocación de circuitos intermedios para proteger los canales analógicos de la tarjeta ya que estos también tienen un rango de tensiones de entrada de ± 10 V.

Los transductores de tensión serán de tipo LEM LV 25-P que colocando a la salida una resistencia de 200OHm permite mandar directamente sus lecturas a la tarjeta de adquisición de datos sin dañarla.

En cualquier caso se tendrá en cuenta que los transductores de corriente y tensión tienen una ganancia asociada que el software utiliza a la hora de representar las señales y hacer los cálculos, este valor de ganancia deberá introducirse correctamente como lo establezcan los manuales técnicos de las sondas utilizadas.

11.3. Estructura y desarrollo del programa

La estructura del programa consta de un total de seis instrumentos virtuales o VI's. La programación de cada uno se ha desarrollado por separado y se relacionan mediante una estructura de árbol.

Desde el VI principal, se puede llamar a cualquiera de los VI siguientes. Para el caso particular del simulador se han desarrollado dos herramientas virtuales independientes que realizan las mismas acciones que las VI's de visualización y cálculo pero dentro del entorno del simulador.

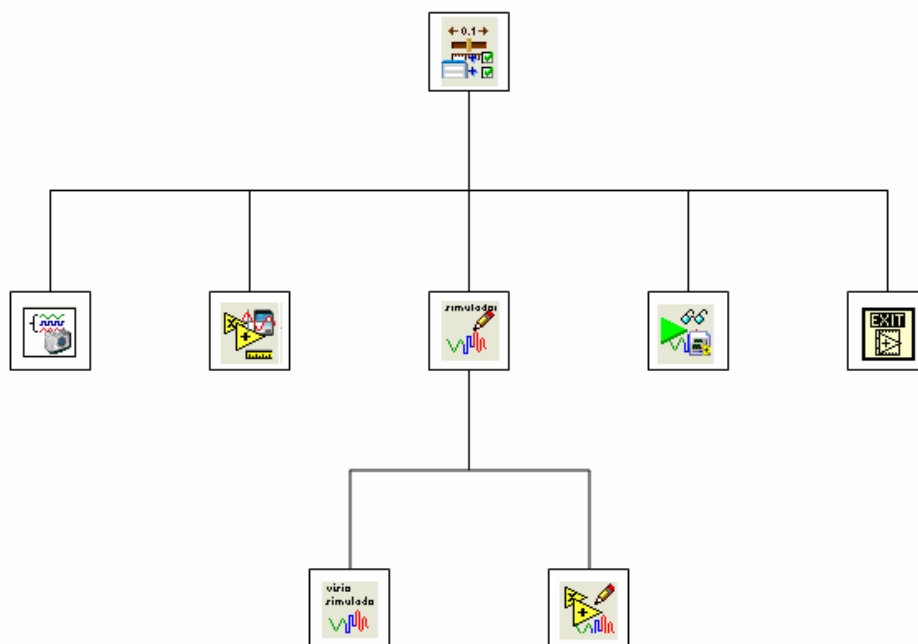


Figura 38. Diagrama de jerarquía de las herramientas virtuales.

Se irán desarrollando las programaciones de cada herramienta virtual a continuación.

11.3.1. Menú principal.

El menú principal consta de una ventana de casos, una serie de interruptores que accionan cada caso y unos paneles de entrada de datos que irán saltando de herramienta en herramienta según se necesiten.

Estos paneles de introducción de datos, son los valores de ganancia de los transductores que el software usa para hacer representaciones reales de las señales de entrada y cálculos más aproximados a la realidad.

Cada herramienta virtual debe configurarse previamente para poder adquirir los datos del menú principal introducidos en estos paneles, y poder usarlos en su programación.

La ventana de casos, como se representa en la siguiente figura, está asociada a un pulsador virtual, la pulsación del botón activa las herramientas virtuales contenidas en la ventana.

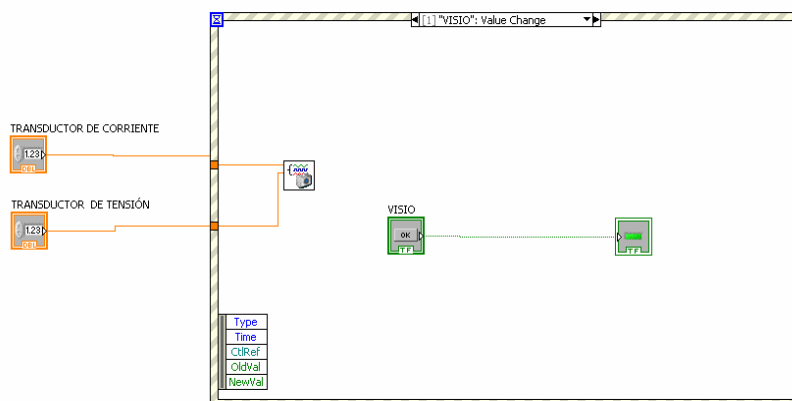


Figura 39. Detalle de la programación del menú principal mediante una ventana de casos.

La ventana de casos del menú principal tiene por tanto, cinco botones independientes que activan las cinco herramientas virtuales: visualización, cálculos, simulador, biblioteca y salida.

Solamente las herramientas de visualización y cálculo tienen asociado un traspaso de datos desde esta pantalla a su programación, es decir solamente estas dos herramientas tomarán los datos de ganancia de los transductores y los usarán en su programación.

11.3.2. Visualización.

Esta herramienta consta de una aplicación de entrada de datos con la cual se controlan los canales físicos de entrada de la tarjeta que se desean leer. Estos canales se etiquetan con los nombres de las corrientes y las tensiones a las que corresponden para posteriormente poder ser clasificados y enviados a una pantalla de visualización.

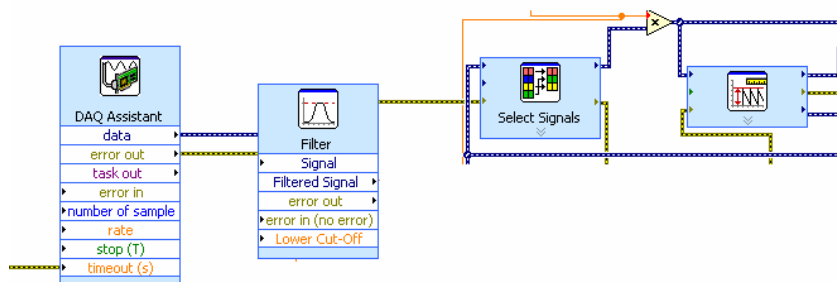


Figura 40. Detalles de la programación, herramientas de adquisición de datos, filtro, selector de canales y medidas.

Las señales de entrada desde la tarjeta de adquisición de datos se filtran mediante una aplicación que actúa como filtro paso bajo, con una frecuencia de corte que por defecto se ha colocado en 100 Hz. La instalación está diseñada para funcionar en el rango de frecuencias que va desde 0 a 50Hz, por lo que las medidas no deberán verse afectadas por el filtro.

A continuación se hacen pasar las señales por una herramienta virtual llamada, selector de señales, esta herramienta permite seleccionar de entre todos los canales de entrada, aquellos que se desean visualizar. La herramienta se controla mediante botones asignados a cada canal, la pulsación de estos botones permite la activación y desactivación de los canales en la pantalla de visualización.

La herramienta de visualización también permite la grabación de datos. Esta grabación se realiza de las entradas a la pantalla de visualización. El formato de grabación de los datos se realiza en .lvm (labview measure), en la dirección especificada por el usuario del programa.

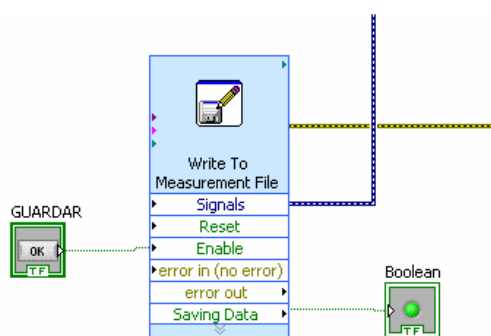


Figura 41. Detalle de programación, herramienta de grabación de gráficas.

11.3.3. Cálculos.

La programación de esta herramienta virtual parte de los mismos principios que la de visualización, mediante una aplicación de entrada de datos, un selector de canales y una herramienta de análisis de señales analógicas, para conseguir los datos más relevantes de estas señales.

Adicionalmente se añaden unos algoritmos que permite calcular y visualizar en sus respectivas pantallas, los valores de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia, siendo el algoritmo de este último el más destacado.

El algoritmo de cálculo del desfase de la tensión y la corriente se basa fundamentalmente en el cálculo de los desfases individuales de los armónicos principales de las señales de entrada con respecto a una señal de referencia común, posteriormente se restan estos valores para conseguir el desfase existente entre la tensión y la corriente.

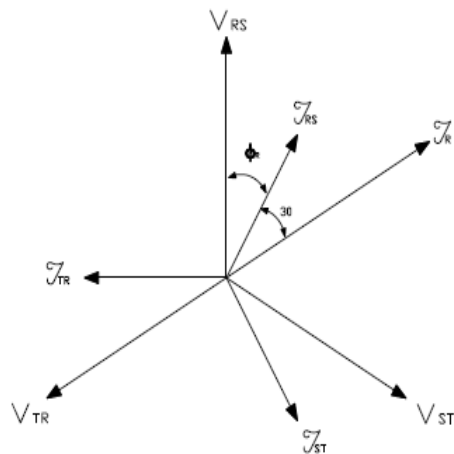


Figura 42. Diagrama de corrientes de línea vs corrientes de fase en conexión triángulo

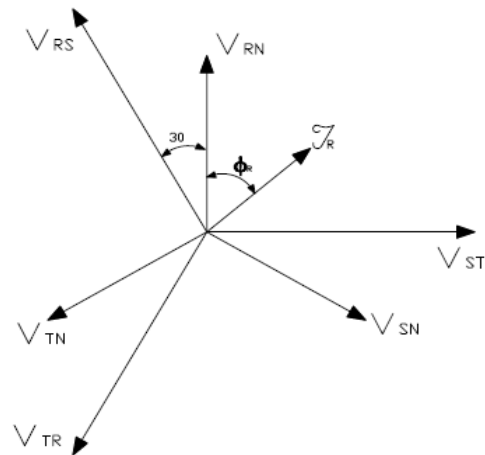


Figura 43. Diagrama de tensiones de línea vs tensiones de fase en conexión estrella.

Como se observa en las figuras anteriores, en ambos casos el algoritmo de cálculo es el mismo por lo que el cálculo del desfase no se ve afectado por el tipo de conexión del circuito, ya sea estrella o triángulo.

Para el cálculo de las potencias se utilizarán las expresiones:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cos \varphi \quad (12)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \sin \varphi \quad (13)$$

Donde:

P	Potencia activa en vatios.
Q	Potencia activa en voltio amperios reactivos.
V_L	Tensión de línea en voltios.
I_L	Corriente de línea en amperios.
φ	Angulo de desfase entre la tensión y la corriente.

A partir del cálculo de la potencia reactiva, se realizan los cálculos de mejora del factor de potencia, mediante batería de condensadores. Con este dispositivo se pretende elevar

el factor de potencia de la instalación en caso de considerarse bajo, ya que al estar constituida por un conjunto de motores, el circuito tiene un carácter inductivo.

El algoritmo de cálculo de la batería de condensadores tiene como principal punto de partida que el valor de la potencia reactiva sea siempre mayor que cero, ya que es la condición necesaria, circuito inductivo, que impulsa la colocación de una batería de condensadores.

Así pues el algoritmo de cálculo de la batería de condensadores tiene dos expresiones, una primera para conexión en estrella y la segunda para conexión en triángulo:

$$C_Y = \frac{Q}{3 \cdot \omega \cdot \left(\frac{U_L}{\sqrt{3}} \right)^2} \quad (14)$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} \quad (15)$$

Donde:

C_Y	Capacidad en Faradios.
ω	Frecuencia angular.
U_L	Tensión de línea.

11.3.4. Simulador, Visualización y Cálculos.

La herramienta del simulador consta de una pantalla principal con un menú de opciones, según una estructura de casos, de igual manera que el menú principal. También presenta una serie de datos de entrada que esta vez serán los datos de partida de una herramienta de generación de señales.

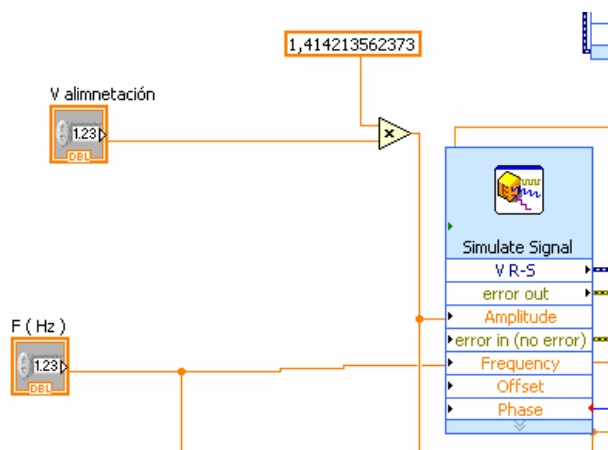


Figura 44. Detalle de la programación, herramienta de simulación de señal analógica.

Una vez generadas estas señales, el software permite la visualización y el cálculo de igual manera que si fuesen adquiridas mediante tarjeta de adquisición de datos, por lo que las herramientas virtuales utilizadas para estos efectos son básicamente iguales que las otras, con alguna pequeña modificación.

La simulación de señales se realiza mediante la introducción de datos de amplitud y frecuencia en una herramienta virtual configurada para generar gráficas de senos. Se consideran siempre sistemas trifásicos equilibrados. Para el caso concreto de la corriente, además de la amplitud y de la frecuencia se pide el valor del desfase inicial con respecto a la tensión, que luego se utiliza para el cálculo del factor de potencia.

11.3.5. Biblioteca

Para las tareas de visualización de gráficas grabadas en la herramienta de visualización, se crea esta herramienta capaz de leer los archivos en formato *.lvm.

Se trata de una herramienta virtual con capacidad de reproducir archivos de tipo lvm, la señal reproducida se introduce en un bucle para ser representada de forma continua, hasta que se pulse el botón de stop, que finaliza la aplicación y resetea la señal, para poder reproducir otra diferente, como se puede observar en la figura siguiente.

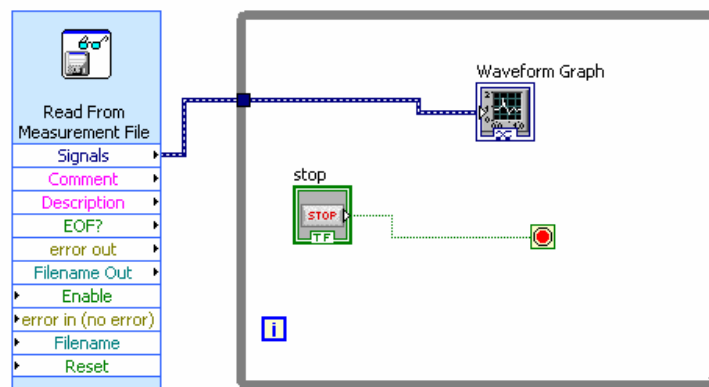


Figura 45. Detalle de la programación, herramienta de lectura de archivos de señales.

11.4. Utilización del programa.

El programa consta de un menú principal con diferentes opciones, como se puede observar la figura 46:

- 1) Valores de los transductores
- 2) Visualización
- 3) Cálculos
- 4) Simulador
- 5) Salir de Labview

Cada uno de estos botones permite saltar a su aplicación, ésta se abre en una pantalla independiente y puede cerrarse el cualquier momento permitiendo al usuario volver a esta pantalla inicial.



Figura 46. Detalle de la ventana de opciones del panel frontal.

11.4.1. Valores de los transductores.

Se colocarán los valores de conversión de los correspondientes transductores, citados anteriormente, como se observa en la siguiente figura.

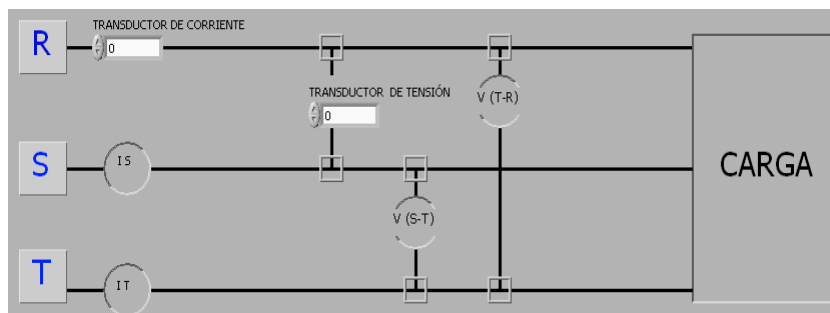


Figura 47. Detalle del panel frontal, introducción de los valores de ganancia de los transductores.

Como antes se mencionó, solamente en las aplicaciones de simulación y cálculos se necesitan estos datos ya que el simulador tiene su propia pantalla de introducción de datos y la biblioteca representa valores ya grabados.

En caso de no introducir estos valores de forma correcta, el programa permite dentro las propias aplicaciones de visualización y cálculo, variar estos valores.

11.4.2. Visualización.

En esta opción se visualizarán los datos de entrada en la tarjeta, pudiendo seleccionar los canales que se desean visualizar, también se pueden realizar mediciones mediante cursores, grabar las gráficas, convertir las medidas del desfase en segundos a grados, mediante un conversor.

Además se ven los valores de las corrientes y las tensiones de entrada, tanto en valores de pico como en valores eficaces, en diferentes pantallas.

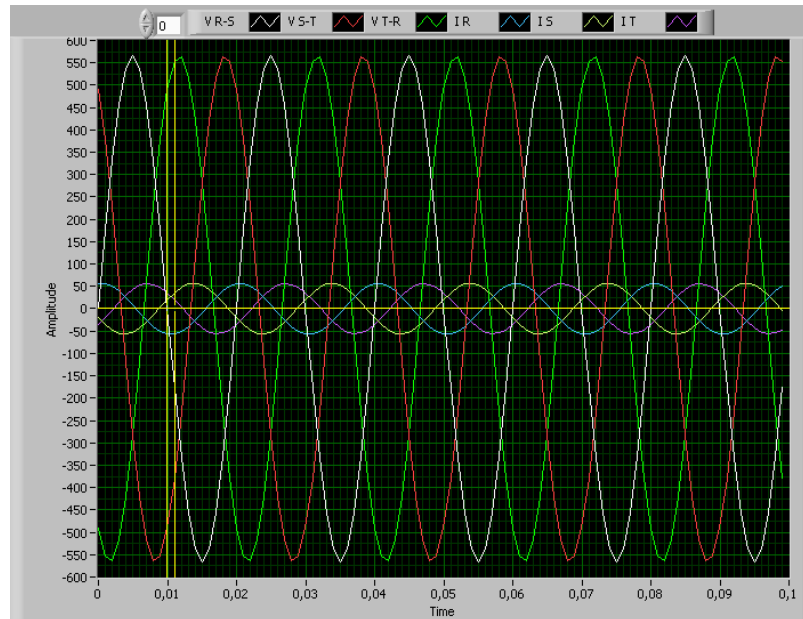


Figura 48. Detalle del panel frontal, visualización de las señales analógicas de entrada.

11.4.3. Cálculos.

En este apartado se presentan por un lado los cálculos de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia de la instalación. Por otro lado y dado el carácter inductivo del circuito, permite el cálculo de la batería de condensadores necesario para mejorar el factor de potencia.

Los cálculos de P , Q y FDP se realizan, ya que se consideran sistemas equilibrados, utilizando los valores de tensión entre las fases R y S y la corriente de línea de R.

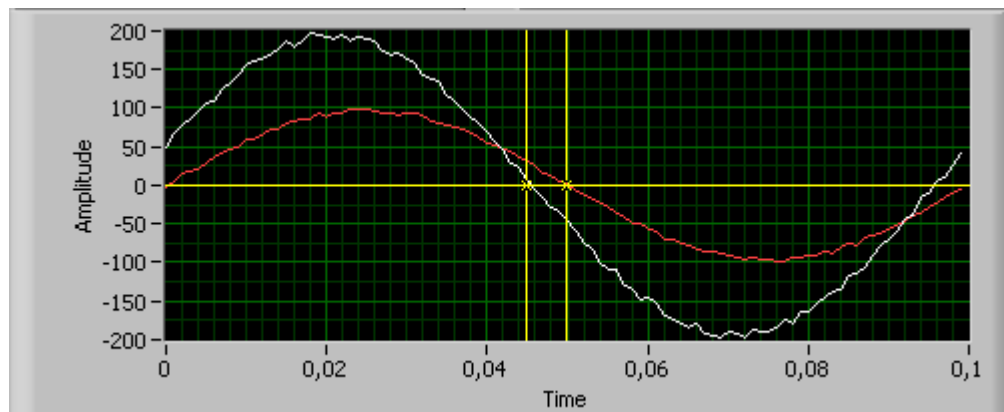


Figura 49. Detalle del panel frontal, visualización de las señales analógicas de entrada en la herramienta de cálculos.

El cálculo de la batería de condensadores se habilita mediante la pulsación de un interruptor en la pantalla de cálculos, que permite calcular el condensador necesario para generar la potencia reactiva que está consumiendo el circuito.

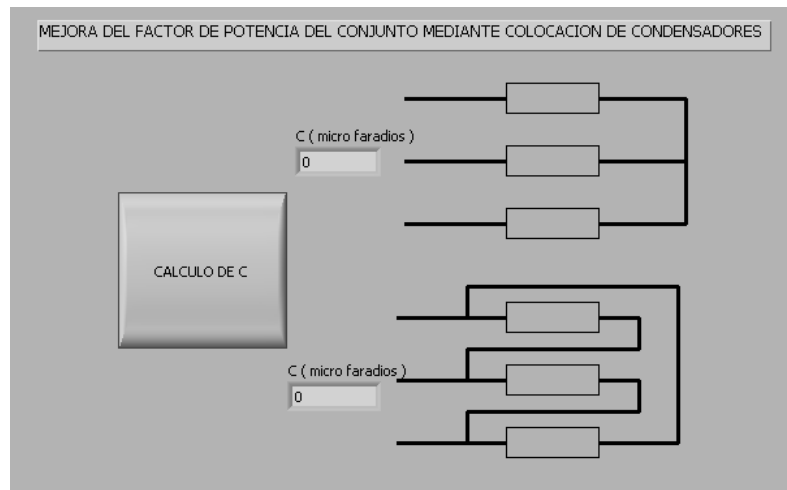


Figura 50. Detalle del panel frontal, cálculo del condensador de mejora del factor de potencia en la herramienta de cálculos.

Este cálculo tiene su mayor eficacia para factores de potencia menores de 0'8, ya que este mismo cálculo aplicado a factores de potencia mayores da como resultado condensadores de tan elevada capacidad que la relación entre coste y productividad hacen que no sea rentable la inversión.

11.4.4. Simulador

El simulador permite analizar circuitos sin necesidad de disponer de transductores de tensión y de corriente. Permite realizar las mismas funciones del programa introduciendo una serie de datos del circuito tales como:

1. Tensión de línea en valor eficaz ($V_{\text{alimentación}}$).
2. Frecuencia de alimentación del circuito en Hz.
3. Reactancia por fase del circuito (XL).
4. Resistencia por fase del circuito (R).

A partir de la introducción de estos datos se simula un circuito trifásico equilibrado en secuencia directa y con la carga conectada en estrella.

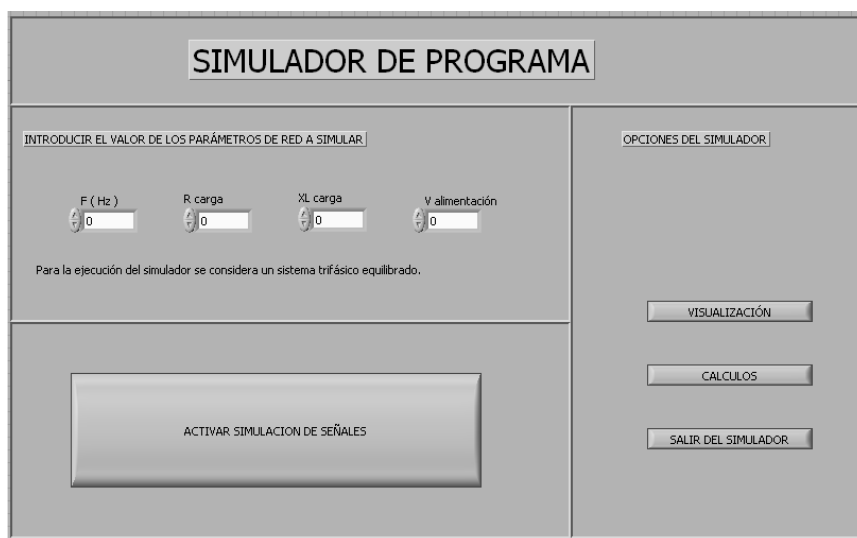


Figura 51. Detalle del panel frontal, ventana de opciones del simulador.

El menú de opciones del simulador permite la visualización y los cálculos de las señales simuladas, de igual manera que las herramientas de visualización y cálculo anteriormente comentadas.

11.4.5. Biblioteca

La biblioteca es un sistema de visualización de datos previamente guardados en el panel de visualización. Este sencillo sistema te permite navegar por los directorios de datos hasta encontrar el archivo .lvm que se desea leer. La pantalla de visualización cuenta con cursores y leyenda de las medidas a visualizar.

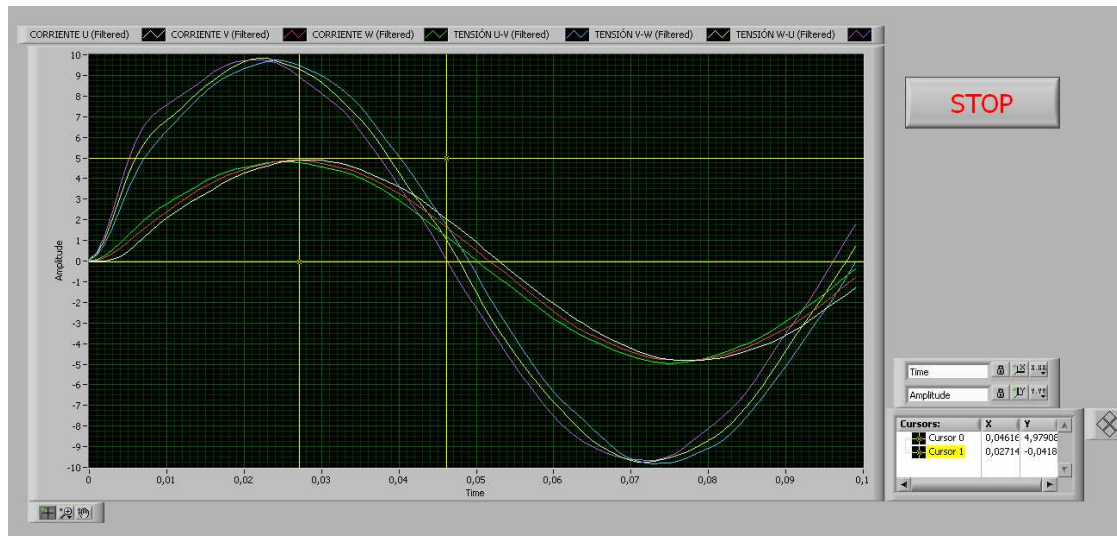


Figura 52. Detalle del panel frontal, ventana de visualización de la herramienta biblioteca.

12. Memoria económica.

Los precios aquí contemplados han sido obtenidos mediante consulta a los distribuidores principales en España de los fabricantes de los equipos, así como de las páginas web de distribuidores tales como RS, Farnell y Soluciones & Servicios entre otras.

12.1. Costes de la instalación eléctrica.

En este punto se detalla el coste real de la instalación eléctrica.

1. Variadores de frecuencia.

La instalación se ha proyectado para ser movida mediante 3 variadores de frecuencia, modelo Micromaster 440 del fabricante Siemens.

	Precio unidad	Cantidad	Total
Micromaster440 de 55kW	7250 euros	2	14500 euros
Micromaster440 de 250kW	20830 euros	1	20830 euros
TOTAL			35330 euros

Tabla 30. Tabla de costes de variadores.

2. Motores eléctricos de inducción.

La selección de los motores eléctricos asíncronos, se ha realizado teniendo en cuenta las necesidades de potencia de las cintas transportadoras.

	Precio unidad	Cantidad	Total
Motor M3RP 315 LC 55kWde ABB	1943 euros	2	3886 euros
Motor 1LA6 75 KW Siemens	2671 euros	3	8013 euros
TOTAL			11899 euros

Tabla 31. Tabla de costes de motores.

3. Contactores de mando.

Los contactores de mando se han seleccionado de acuerdo a la lógica de automatización y a los requisitos eléctricos de la instalación.

	Precio unidad	Cantidad	Total
Contactador A9530 de ABB	985 euros	2	1970 euros
Contactador SIRIUS 3RT1054 Siemens	1150 euros	2	2300 euros
Contactador SIRIUS 3RT1055 Siemens	1300 euros	3	3900 euros
Contactador SIRIUS 3RT1076 Siemens	2835 euros	3	8505 euros
TOTAL			16675 euros

Tabla 32. Tabla de costes de contactores.

4. Armarios eléctricos

Los equipos eléctricos de potencia se disponen según una configuración de 4 armarios.

	Precio unidad	Cantidad	Total
Rittal 2 puertas 2400x2000x500	2250 euros	3	6750 euros
Rittal 1 puerta 1200x2000x500	1150 euros	3	1150 euros
TOTAL			7900 euros

Tabla 33. Tabla de costes de armarios 1.

Los equipos de mando se disponen en tres armarios colocados en las distintas zonas de la instalación.

	Precio unidad	Cantidad	Total
Rittal 1 puerta 1200x2000x500	1150 euros	3	3450 euros
TOTAL			3450 euros

Tabla 34. Tabla de costes de armarios 2.

5. Protecciones.

Relación de los equipos de protección eléctrica necesarios en la instalación.

	Precio unidad	Unid.	Total
I. Automático SIRIUS 3VT1 160A Siemens	1355 euros	2	2710 euros
I Automático SENTRON 3WL Siemens	2750 euros	1	2750 euros
I. Automático SIRIUS 3VT1 63A Siemens	895 euros	3	2685 euros
Relé térmico B177S AEG 180A	675 euros	3	2025 euros
I. Automático 3VT1 16A Siemens	125 euros	3	375 euros
Relé diferencial electrónico clase A 300mA CIRCUTOR RGU-10.	1255 euros	3	3765 euros
Relé diferencial electrónico clase AC 30mA CIRCUTOR RGU-10.	1255 euros	3	3765 euros
TOTAL			18075 euros

Tabla 35. Tabla de costes de protecciones.

6. Cable eléctrico.

	longitud	Precio
Manguera Cu 3F+N sección 400 mm ² XLPE	200 m	16915 euros
Manguera Cu 3F+Nsección 70 mm ² XLPE	200 m	5850 euros
Manguera Cu 3F+N sección 50 mm ² XLPE	400 m	6715 euros
Manguera Cu 1F+N+PE sección 10 mm ² XLPE	700 m	2100 euros
Manguera Cu 1F+N+PE sección 2,5 mm ²	500 m	1875 euros
Manguera Cu 1F sección 1,5 mm ²	500 m	1120 euros
TOTAL		34575 euros

Tabla 36. Tabla de costes de cable eléctrico.

12.2. Costes de los equipos de la automatización.

En este punto se detallan los precios de los equipos tales como el PLC, Periféricos, tarjetas de entradas y salidas y demás componentes de la automatización.

	Precio unidad	Unid.	Total
SIMATIC S7 317-DP	6522 euros	1	6522 euros
SIMATIC ET200S	1585 euros	2	3170 euros
SITOP 230/24	160 euros	3	480 euros
MÓDULO DI16xDC24V	780 euros	3	2340 euros
MÓDULO DO16xDC24V	780 euros	3	2340 euros
I. parada emergencia IP67 2NC Saia-burgues	17 euros	6	102 euros
Interruptor PB 613 Llave Rojo	17 euros	1	17 euros
Sirena CTL A 1200 FCL	247 euros	5	1235 euros
Cable PROFIBUS 100m	856 euros	3	2568 euros
TOTAL			18774 euros

Tabla 37. Tabla de costes de equipos principales de automatización de la instalación.

Costes de sensores utilizados en la medida de temperaturas del motor KTY84, sensores de detección de carga ópticos, transductores de corriente y tensión.

	Precio unidad	Unid.	Total
Sensores KTY84 de NXP Semiconductors	3 euros	10	30 euros
Retro reflex laser sensor 5,5m BAUMER	280 euros	6	1680 euros
Transductores de corriente LEM DHR 1000C10	190 euros	3	570 euros
Transductores de corriente LEM HTA 500s	45 euros	3	135 euros
Transductores de tensión LEM LV 25-P	70 euros	20	1400 euros
TOTAL			3815 euros

Tabla 38. Tabla de costes de sensores.

12.3. Coste de software y tarjeta de adquisición de datos.

	Precio unidad	Unid.	Total
Step 7	2123 euros	1	2123 euros
Starter	0 euros	1	0 euros
Labview Profesional	4299 euros	1	4299 euros
Tarjeta de adquisición de datos DAQ	1149 euros	1	1149 euros
TOTAL			7571 euros

Tabla 39. Tabla de costes de software.

12.4. Costes totales.

	Precio
Costes de instalación eléctrica	127904 euros
Costes automatización	22609 euros
Costes de software	7571 euros
TOTAL	158084 euros

Tabla 40. Tabla de costes totales.

13. Conclusiones del proyecto.

En este apartado se realizará una breve descripción de los aspectos más relevantes conseguidos con la realización de este proyecto.

Como objetivo principal del proyecto se ha desarrollado una instalación automatizada de transporte de carga, con la instalación eléctrica asociada y un programa de supervisión que sirva de ayuda en la puesta en marcha de la instalación.

En los siguientes puntos se realizará una exposición de los objetivos conseguidos, las ventajas de los métodos utilizados y sus posibles alternativas, para cada uno de los apartados del proyecto.

13.1. Instalación.

La instalación eléctrica diseñada tiene como punto diferenciador fundamental la utilización de un variador en aplicación multimotor y las posibles ventajas de este frente a aplicaciones más convencionales.

Este tipo de usos puede justificarse mediante la reducción del número de equipos necesarios, ganando en sencillez y reduciendo los costes.

Por el contrario encontramos una pérdida en el control eficaz de los equipos y pérdida de flexibilidad en la explotación de la instalación. Con otras configuraciones con variadores atacando a un solo motor se puede arrancar, parar o variar las velocidades de las cintas de forma independiente, ganando control.

En lo que se refiere al estudio de variadores de frecuencia en aplicaciones multimotor, se ha mejorado el conocimiento sobre la configuración de estos equipos y su comportamiento.

13.2. Automatización.

En esta instalación se da un valor muy importante a la seguridad de las personas y de los equipos, por lo que las zonas de trabajo son reguladas con velocidades máximas de funcionamiento predeterminadas y señalizadas mediante señales luminosas y acústicas.

El uso correcto de la instalación y la seguridad de la carga a transportar se aseguran mediante el sistema de detección de paso de carga, su principal defecto es la pérdida de exactitud en la detección en los arranques y las paradas de la instalación ya que no es capaz de detectar pérdidas de carga que se pudieran ocasionar en estos casos.

Como medida de mejora se podrían introducir una mayor cantidad de sensores intermedios que permitieran un seguimiento de la carga más exhaustivo u otras lógicas de supervisión de la carga mediante contadores.

En el apartado de comunicaciones vía Profibus, se optó por la comunicación cíclica con los variadores, comunicación que solo permite dar órdenes de marcha, sentido de giro y frecuencia y se descartó el uso de la comunicación acíclica que permite modificar parámetros.

Debido a la naturaleza sencilla y específica de la instalación se ha preferido configurar los variadores de forma predeterminada, atendiendo a los usos que luego se daría de ellos, evitando la parametrización vía profibus.

13.3. Supervisión de la instalación.

El motivo principal de la creación del programa es la vigilancia de la instalación en su fase de puesta en marcha.

Durante este periodo de tiempo en instalaciones de tipo medio y grande donde las tareas de trabajo son repartidas entre muchos técnicos, es habitual encontrarse con fallos en la instalación como malos contactos entre terminales, fases mal cableadas, problemas de humedad, fugas a tierra...etc. Como resultado de esto, en muchas ocasiones, el proceso de puesta en marcha se ve ralentizado, siendo necesario el uso de equipos como osciloscopios y polímetros para realizar mediciones del estado correcto de los diferentes circuitos de la instalación.

El objetivo, por tanto, era la creación de una herramienta de ayuda en un campo determinado de las instalaciones eléctricas, en una plataforma de desarrollo de software como es Labview, que permite compartir las herramientas virtuales creadas por todos los usuarios y adaptarlas a las propias necesidades, de manera que este programa pueda ser adaptado, mejorado o directamente utilizado por diferentes usuarios para diferentes aplicaciones.

Como principal mejora del programa se podría ampliar para poder usarse en redes desequilibradas, permitiendo realizar los cálculos de potencias y factor de potencia de forma independiente para cada fase y poder estudiar la forma de compensar fases desequilibradas en instalaciones eléctricas de tipo industrial y automatizado.

14. Referencias.

- [1]. José García Trasancos, Instalaciones eléctricas en media y baja tensión: adaptado al nuevo RBT (BOE 2002) 5ª ed.
- [2]. Biblioteca Técnica de Schneider Electric.
- [3]. Reglamento Electrotécnico en Baja Tensión, 2009.
- [4]. Siemens. www.siemens.com
- [5]. Jesús Fraile Mora, *Máquinas Eléctricas*, editorial MCGRAW-HILL S.A.
- [6]. Wikipedia. www.wikipedia.org
- [7]. Manual Micromaster 440 de Siemens.
- [8]. Lista de Parámetros de Micromaster 440 de Siemens.
- [9]. Manual de Programación en Step7.
- [10]. Antonio Manuel Lázaro, *LabVIEW 6i Programación Gráfica para el Control de Instrumentación*, PARANINFO, THOMPSON LEARNING.
- [11]. José Rabel Lajara Vizcaíno y José Pelegrí Sebastián, *Lab-VIEW Entorno gráfico de programación*, Marcombo ediciones técnicas.
- [12]. Porras Montero, A; Autómatas Programables. Fundamento. Manejo. Instalación y Práctica. McGraw-Hill, 1990.
- [13]. National Instruments. www.ni.com
- [14]. Camprodón transportadores. www.camprodon.biz
- [15]. Vulcaban. www.vulcaban.com
- [16]. Coeltra. www.coeltra.com
- [17]. ABB. www.abb.com